



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**



**José Manuel Fialho Marques**

# Manutenção de Uma Instalação de AVAC das Áreas Limpas de Uma Indústria Farmacêutica

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

**Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial**

**MANUTENÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO DE AVAC  
DAS ÁREAS LIMPAS DE UMA INDÚSTRIA  
FARMACÊUTICA**

José Manuel Fialho Marques

Licenciado em Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Dissertação apresentada para Obtenção do  
Grau de Mestrado em Manutenção Industrial

Dissertação realizada sob a orientação do  
Professor Doutor Clito Félix Alves Afonso  
do Departamento de Engenharia Mecânica da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
e co-orientação do Engenheiro João Farinha Mendes  
Investigador Principal do  
Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

Porto, Julho 2005

## DEDICATÓRIA

Sabedoria significa ter a noção  
da falibilidade de todos os nossos  
pontos de vista e opiniões, e contar  
mais com a incerteza  
e a instabilidade das coisas

Gerald Brown

Já temos muita gente  
a dizer como são as coisas  
agora fazia falta alguém  
que dissesse como elas podiam ser

Robert Orben

Aos meus filhos, Tiago e Pedro

À minha mulher, Rosário

Aos meus pais

## **AGRADECIMENTOS**

É sempre difícil agradecer o apoio e a colaboração de todos os que motivaram e contribuíram para a realização do presente trabalho.

Aos Professores, Colegas e Amigos, os meus sinceros agradecimentos.

Em particular, agradeço a prestável colaboração de sabedoria do Prof. Doutor Clito Félix Alves Afonso, na qualidade de orientador, e do Senhor Engenheiro João Farinha Mendes, na qualidade de co-orientador, no empenho e acompanhamento desta dissertação.

Cordialmente, agradeço ao Senhor Luís Bastos e colaboradores da Tradelabor a manifesta gentileza na disponibilidade dos meios técnicos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço o apoio dedicado dos colegas e amigos, Mestrado Eng.º Rocha Soares e Eng.º João Brasileiro.

## RESUMO

Na manutenção das instalações de AVAC é importante preservar o bom estado dos equipamentos e sistemas para manter a Qualidade do Ar Interior. Mas, não é suficiente! É igualmente imperativo, que estes sejam correctamente aplicados e não relativizar a poupança de energia, para não influenciar negativamente o equilíbrio sustentável do meio ambiente.

Para o efeito, é importante saber projectar a gestão da manutenção com início na fase do projecto de concepção. Pelo que, é essencial existir um eficiente e coordenado sistema de informação entre os diferentes autores, do projecto, da execução da instalação e da gestão da manutenção. Uma fiscalização eficaz será o elo de ligação entre eles e organizará o processo completo da obra, que entregará à gestão da manutenção.

É neste contexto que o saber pensar e o saber fazer irá permitir saber gerir melhor a manutenção.

Nestas circunstâncias, a gestão da manutenção e/ou a manutenção de melhoramento só são possíveis com o conhecimento e estudo apurado de experiências acumuladas.

É esta estratégia que permite realizar projectos mais valorizados e que se expressa no presente trabalho.

Nesta conformidade, como caso de estudo, apresenta-se o controlo de condição da Qualidade do Ar Interior e o processo de classificação das salas limpas, constituintes de uma área de injectáveis de um laboratório farmacêutico existente, de acordo com a Norma ISO 14644-1, de 1999-05-01. Para o efeito, foram realizados ensaios e com os dados recolhidos nos testes classificam-se as salas e faz-se uma análise da influência da renovação do ar do sistema de AVAC, numa abordagem da manutenção de melhoramento através do balanceamento do mesmo.

O trabalho desenvolvido permite concluir que uma adequada renovação do ar é crítica no projecto e/ou na manutenção de melhoramento dos sistemas de AVAC das salas das aéreas limpas de uma indústria farmacêutica.

## ABSTRACT

The maintenance of HVAC installations is of great importance to preserve the equipments and the systems in good condition, in order to have a good indoor air accordingly to the high standards required. However, this is not enough. It is also fundamental the maintenance of those systems and components and not relegating to second plan the energy savings and the environmental consequences.

It is the great of importance to know how to design the maintenance managing at the very beginning of the project conception. For that, it is essential to have a project conception, to have an efficient and coordinated information system among the different partners: designers of the different equipments, contractors and maintenance managing. The Quality authority will be the link among these partners, organizing the commissioning and the balancing of the all HVAC mechanical projects and he will be over the complete documentation process.

In this context, the “to know thinking” and “to know doing” together, will show the conditions of the best managing maintenance procedures.

The managing maintenance and the maintenance improvement only will be possible with the knowledge and the exhaustive study of the data of similar experience.

This is the strategy to allow improvement projects and it is the way follow up in this present work.

Therefore the case study presented in this work concerns the indoor air quality control and classification process of an existing pharmacy ISO-14644-1 of 1999-05-01. For this purpose, tests have been realized, and with the measured data, the rooms of the HVAC Systems have been classified and the influence of the HVAC systems under improvement was approached through the HAVC system balancing.

The methodology of this work, allowed to conclude that a properly air renewal is of great importance in the project as well as the improvement maintenance of HVAC systems of the surrounding of the clean rooms in the pharmaceutical industry.

## ÍNDICE

PÁGINA DE TÍTULO .....	I
DEDICATÓRIA .....	II
AGRADECIMENTOS .....	III
RESUMO .....	IV
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE QUADROS .....	XI
SIMBOLOGIA .....	XIII
Capítulo 1 .....	1
Introdução .....	1
1.1 Relevância do Tema .....	2
1.2 Caso de Estudo .....	5
1.3 Organização da Dissertação .....	7
Capítulo 2 .....	9
Projectar a Gestão da Manutenção .....	9
2.1 Generalidades .....	9
2.2 Análise Organizacional do Projecto .....	10
2.3 Normas e Vontade de Fazer Melhor .....	12
2.4 Investimento Económico .....	12
2.5 Projecto da Gestão da Manutenção das Instalações de AVAC .....	13
2.6 Acções a Desenvolver na Fase de Projecto .....	16
2.7 Acções a Implementar na Fase de Execução da Obra .....	19
2.8 Fiscalização da Obra .....	21
2.9 Planeamento Inicial da Manutenção .....	22
2.10 Síntese .....	23
Capítulo 3 .....	24
A Energia .....	24
3.1 Generalidades .....	24
3.2 As Fontes de Energia .....	26
3.2.1 Definições de Energia .....	27
3.2.2 Procura da Energia em Portugal .....	28
3.3 Síntese .....	31
Capítulo 4 .....	33
Produção de Energia Térmica para AVAC .....	33
4.1 Generalidades .....	33
4.2 Instalações de AVAC com Solar Térmico Activo .....	33
4.3 Máquinas Frigoríficas de Absorção .....	35
4.3.1 Princípio de Funcionamento da Máquina de Absorção .....	36
4.4 Máquinas de Absorção e Sistemas de Cogeração .....	39
4.5 Síntese .....	41
Capítulo 5 .....	42
Sistemas de AVAC .....	42
5.1 Generalidades .....	42
5.2 História do Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado .....	42
5.3 Caracterização de Instalação e Sistema de AVAC .....	45
5.4 Sistemas de Ventilação .....	46
5.4.1 Ventilação Natural .....	46
5.4.2 Ventilação Mecânica .....	47

5.5	Sistemas de AVAC.....	47
5.5.1	Definições.....	47
5.5.2	Domínios de Utilização .....	48
5.5.3	Morfologia dos Equipamentos das Instalações de AVAC.....	49
5.5.4	Classes de Sistemas das Instalações de AVAC .....	50
5.6	Requisitos dos Sistemas de AVAC.....	51
5.6.1	Sistemas a Ar Total – Conduta Simples - Unizona.....	51
5.6.2	Sistemas a Ar Total – Multizona .....	52
5.6.2.1	Com Bateria de Reaquecimento Central.....	52
5.6.2.2	Com Registos de Mistura.....	53
5.6.3	Sistemas com uma Conduta e Volume de Ar Variável - VAV.....	53
5.6.3.1	Regulação do Ventilador dos Sistemas a VAV .....	54
5.6.3.2	Aquecimento dos Locais com Sistemas a VAV .....	55
5.6.3.3	Reguladores de Caudal e Difusores dos Sistemas a VAV .....	55
5.6.4	Outros Sistemas Monoconduta a VAV.....	56
5.6.4.1	Sistemas Combinados.....	56
5.6.4.2	Aquecimento Central do Ar.....	57
5.6.5	Sistemas com Duas Condutas a Caudal de Ar Variável .....	57
5.6.5.1	Problemas Acústicos dos Sistemas com Duas Condutas.....	58
5.6.5.2	Inconvenientes e Vantagens dos sistemas com duas condutas .....	58
5.6.6	Sistemas de Climatização a Ar e Água (Sistemas Mistos) .....	59
5.6.6.1	Sistemas com Bateria de Aquecimento Terminal.....	59
5.6.6.2	Sistemas com Unidades Individuais a Indução.....	60
5.6.7	Sistemas a Dois Tubos (Sistemas a Água).....	62
5.6.7.1	Sistema a Dois Tubos com Inversão.....	62
5.6.7.2	Sistemas a Dois Tubos sem Inversão.....	64
5.6.8	Sistemas a Três Tubos .....	65
5.6.9	Sistema a Quatro Tubos.....	65
5.6.9.1	Sistemas a Quatro Tubos com Regulação por Válvulas .....	65
5.6.9.2	Sistemas a Quatro Tubos com Regulação por Registo .....	66
5.6.10	Sistemas com Unidades Terminais a Indução e Volumes de Ar Variável.....	68
5.6.11	Sistemas com Ventilo-Convectores .....	70
5.6.12	Síntese .....	72
Capítulo 6	.....	74
Equipamentos dos Sistemas de Tratamento do Ar	.....	74
6.1	Generalidades .....	74
6.2	Ventiladores.....	75
6.2.1	Ventiladores Centrífugos.....	77
6.2.1.1	Classificação dos Ventiladores Centrífugos .....	77
6.2.1.2	Características Técnicas dos Ventiladores Centrífugos.....	78
6.2.1.3	Accionamento e Regulação dos Ventiladores Centrífugos.....	79
6.2.1.4	Seleccção do Ventilador Centrífugo.....	80
6.2.2	Ventiladores Helicoidais.....	82
6.2.2.1	Tipos de ventiladores Helicoidais.....	82
6.2.2.2	Accionamento dos Ventiladores Helicoidais .....	83
6.2.2.3	Regulação dos Ventiladores Helicoidais .....	84
6.3	Vantagens e Inconveniente entre Ventiladores Helicoidais e Centrífugos .....	85
6.4	Baterias de Aquecimento e Arrefecimento do Ar.....	85
6.4.1	Baterias de Aquecimento do Ar a Água ou a Vapor.....	85
6.4.1.1	Características Técnicas de uma Bateria de Aquecimento a Água ou Vapor .....	86
6.4.1.2	Escoamento da Água na Bateria de Aquecimento .....	87
6.4.1.3	Baterias de Aquecimento Eléctrico.....	87
6.4.2	Baterias de Arrefecimento .....	89
6.5	Filtros de Ar.....	90
6.5.1	Métodos de Ensaio dos Filtros.....	93
6.5.2	Perdas de Carga, Duração e Colmatagem dos Filtros.....	96
6.5.3	Diferentes Tipos de Filtros .....	97
6.5.3.1	Filtros Metálicos.....	99
6.5.3.2	Filtros de Fibras .....	99



6.5.3.3	Filtros Compactos.....	100
6.5.3.4	Filtros Absolutos.....	100
6.5.3.5	Filtros de Carvão Activado.....	101
6.5.3.6	Filtros Eléctricos.....	102
6.5.3.7	Filtros Automáticos.....	104
6.5.3.8	Filtros Multietapas.....	105
6.6	Lavadores.....	106
6.7	Recuperadores de Calor.....	109
6.8	Desumidificadores.....	112
6.9	Síntese.....	112
Capítulo 7	.....	114
QAI das Áreas Limpas da Indústria Farmacêutica - Caso de Estudo	.....	114
7.1	Generalidades.....	114
7.2	Ensaio para Controlo de Condição das Salas Limpas.....	115
7.3	Testes e Classes das Salas Limpas.....	121
7.3.1	Área em Estudo.....	123
7.3.2	Caudais do Ar de Insuflação e Renovações por Hora.....	124
7.3.3	Número de Amostras para Contagem de Partículas.....	125
7.3.4	Volume da Amostra.....	126
7.3.5	Classificação das Salas Limpas.....	127
7.4	Análise e Resultados da Actual Instalação.....	131
7.4.1	Controlo da Retenção de Partículas.....	132
7.4.2	Razão de Renovação por Hora do Caudal do Ar de Insuflação.....	133
7.4.3	Analogia entre a Razão de Renovação do Ar e a Geração Interior de Partículas.....	137
7.4.4	Impacto da Pressurização.....	139
7.4.5	Balanceamento da Instalação.....	142
7.4.5.1	Balanceamento da Instalação na Condição de Operação.....	142
7.4.5.2	Balanceamento da Instalação na Condição de Repouso.....	145
7.5	Tempo de Recuperação.....	146
7.6	Pormenores de Projecto das Áreas Limpas.....	146
7.7	Pormenores de Manutenção das Áreas Limpas.....	149
Capítulo 8	.....	152
Conclusões	.....	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	154
ANEXO A – Delineação dos principais Projectos de Execução de um Edifício	.....	157
ANEXO B – Métodos de Ensaio dos Filtros de Ar	.....	159
ANEXO C – Quadros com os resultados dos ensaios das salas limpas de uma indústria farmacêutica	.....	161

## LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2 .....	9
Projectar a Gestão da Manutenção .....	9
Fig. 2.1 – O saber pensar, o saber fazer e o saber gerir no acumular de experiências que origina projectos mais valorizados .....	15
Capítulo 3 .....	24
A Energia .....	24
Fig. 3.1 – Fontes de Energia .....	26
Fig. 3.2 – Transformação da energia primária em energia final .....	27
Capítulo 4 .....	33
Produção de Energia Térmica para AVAC .....	33
Fig. 4.1 – Esquema simplificado de uma instalação de AVAC com bomba de calor e solar térmico activo. ....	34
Fig. 4.2 – Esquema simplificado de uma instalação de AVAC com máquina de absorção e solar térmico activo. ....	35
Fig. 4.3 - Comparação entre uma máquina frigorífica de compressão mecânica de um vapor e uma máquina frigorífica a compressão térmica, quer dizer de absorção. ....	36
Fig. 4.4 – Esquema de princípio de funcionamento de uma máquina frigorífica de absorção. ....	37
Fig. 4.5 – Esquema de princípio simplificado de um sistema de cogeração. ....	40
Capítulo 5 .....	42
Instalações de AVAC .....	42
Fig. 5.1 – Unidade central multizona com bateria de reaquecimento para cada zona. ....	52
Fig. 5.2 – Unidade central multizona com registo motorizado de mistura. ....	53
Fig. 5.3 – Esquema de princípio de um sistema a VAV com conduta simples. ....	54
Fig. 5.4 – Sistema a VAV aplicado conjuntamente com outros. ....	56
Fig. 5.5 – Instalação com combinação de sistemas: a uma conduta, com duas condutas e a ejecto-convectores. ....	56
Fig. 5.6 – Esquema de princípio de um sistema com duas condutas a alta pressão. ....	57
Fig. 5.7 – Unidades terminais de indução para instalação no peitoril das janelas. ....	61
Fig. 5.8 – Unidade de indução de tecto. ....	62
Fig. 5.9 – Esquema de princípio de um sistema de tratamento de ar com unidades terminais de indução. ....	62
Fig. 5.10 – Esquema de princípio de um sistema de tratamento do ar a 2 tubos e válvula de inversão. ....	63
Fig. 5.11 – Esquema de princípio de um ejecto-convector com dois circuitos de água independentes e regulação através de válvulas de três vias. ....	65
Fig. 5.12 – Funcionamento de ejecto-convectores com regulação por registo. ....	66
Fig. 5.13 – Ejecto-convectores a 2 tubos com sistema a VAV. ....	68
Fig. 5.14 – Pormenor tipo de um ventilo-convector com duas baterias. ....	71
Fig. 5.15 – Delineação dos múltiplos sistemas existentes das instalações de AVAC. ....	73
Capítulo 6 .....	74
Equipamentos dos Sistemas de Tratamento do Ar .....	74
Fig. 6.1 – Ângulo das diferentes formas das pás. ....	77
Fig. 6.2 – Esquema de princípio de uma bateria de aquecimento do ar. ....	86
Fig. 6.3 – Escoamento da água numa bateria de aquecimento. ....	87
Fig. 6.4 – Posições de funcionamento de uma bateria de água quente. ....	87
Fig. 6.5 – Válvulas instaladas na tubagem de saída do fluido térmico. ....	90
Fig. 6.6 – Esquema de retenção de uma partícula por efeito de difusão de uma única fibra. ....	91
Fig. 6.7 – Esquema de retenção de uma partícula por efeito de inércia de uma única fibra. ....	91
Fig. 6.8 – Esquema de retenção de uma partícula por efeito de intersecção directa. ....	91

Capítulo 7 .....	114
QAI das Áreas Limpas da Indústria Farmacêutica Caso de Estudo .....	114
Fig. 7.1 – Termo-higrómetro com diversos cabos de ligação a sondas .....	115
Fig. 7.2 – Aspecto da cablagem e das várias sondas instaladas.....	115
Fig. 7.3 – Operação de registo da pressão relativa da sala .....	116
Fig. 7.4 – Operação de registo do caudal de ar insuflado com caudalímetro.....	116
Fig. 7.5 – Anemómetro, multifuncional com sondas separadas .....	116
Fig. 7.6 – Anemómetro com cabeça rotativa .....	116
Fig. 7.7 – Tripé com sonda de contagem de partículas, estrategicamente colocado.....	117
Fig. 7.8 – Entrada na UTA do aerossol, vaporizado, com auxílio de azoto.....	118
Fig. 7.9 – Aspecto da célula fotoelétrica para verificação e indicação da permeabilidade do filtro absoluto..	119
Fig. 7.10 – Aspecto do fotómetro indicando a percentagem de partículas passantes .....	119
Fig. 7.11 – Verificação da movimentação do ar insuflado .....	120
Fig. 7.12 – Verificação do fluxo de ar de pressurização da sala.....	120
Fig. 7.13 – Aplicação de uma junta plana com sobreposição cuidada nos cantos .....	120
Fig. 7.14 – Filtro novo com junta sobreposta no canto.....	120
Fig. 7.15 – Aspecto da junta de um filtro usado.....	121
Fig. 7.16 – Aspecto de um filtro novo, à esquerda, e um filtro usado à direita .....	121
Fig. 7.17 – Área de injectáveis – Planta s/ escala. ....	123
Fig. 7.18 – Localização dos filtros absolutos terminais – Planta s/escala.....	124
Fig. 7.19 – Localização das sondas para contagem das partículas - Planta s/escala.....	126
Fig. 7.20 – Sentido do fluxo de ar e pressão relativa existente entre as salas – Planta s/ escala.....	132

## LISTA DE QUADROS

Capítulo 5 .....	42
Instalações de AVAC .....	42
Quadro 5.1 – Classificação geral dos sistemas das instalações de tratamento do ar.....	45
Capítulo 6 .....	74
Equipamentos dos Sistemas de Tratamento do Ar .....	74
Quadro 6.1 – Resumo dos diferentes tipos de ventiladores.....	76
Quadro 6.2 – Diferentes possibilidades de accionamento dos ventiladores.....	79
Quadro 6.3 – Classificação da eficácia dos filtros a ar da ventilação em geral – Eurovent 4/5.....	95
Quadro 6.4 – Classificação dos filtros de ar a muito alta eficácia – Eurovent 4/4 .....	96
Quadro 6.5 – Processos de recuperação do calor do ar de extracção.....	110
Quadro 6.6 – Esquemas de princípio com aplicação dos principais processos de recuperação de energia térmica .....	113
Capítulo 7 .....	114
QAI das Áreas Limpas da Indústria Farmacêutica Caso de Estudo .....	114
Quadro 7.1 - Selecção da classe de limpeza de partículas ínfimas contidas no ar das salas e áreas limpas [33] .....	122
Quadro 7.2 – EU / GMP Grau de classificação das partículas ínfimas contidas no ar [34].....	123
Quadro 7.3 – Designação, áreas e volumes das salas limpas.....	124
Quadro 7.4 – Caudais totais de ar medidos e renovações por hora das salas limpas .....	125
Quadro 7.5 – Valores da distribuição para um nível de confiança superior a 95% [33].....	129
Quadro 7.6 – Classificação das salas limpas na <i>condição de repouso</i> .....	131
Quadro 7.7 – Classificação das salas limpas na <i>condição de operação</i> .....	131
Quadro 7.8 – Características das salas limpas resultantes do teste, na <i>Condição de Repouso</i> .....	134
Quadro 7.9 – Características das salas limpas resultantes do teste, na <i>Condição de Operação</i> .....	135
Quadro 7.10 – Diferenças entre os caudais do ar de insuflação teóricos e os medidos, na <i>condição de Repouso</i> .....	136
Quadro 7.11 – Diferenças entre os caudais do ar de insuflação teóricos e os medidos, na <i>condição de Operação</i> .....	137
Quadro 7.12 – Salas de classe superior à estabelecida e relação com as razões de renovação do ar, na <i>Condição de Operação</i> .....	138
Quadro 7.13 – Quantidade de partículas introduzidas nas salas devido à pressurização na <i>condição de operação</i> .....	141
Quadro 7.14 – Quantidade de partículas geradas no interior das salas limpas, para o balanceamento da instalação, na <i>condição de operação</i> .....	142
Quadro 7.15 – Caudal do ar de insuflação e de extracção .....	144
Quadro 7.16 - Quantidade de partículas gerados no interior das salas limpas, para o balanceamento da instalação, na <i>Condição de Repouso</i> .....	145
Quadro 7.17 – Contabilização das partículas nas salas ocupadas na condição de operação.....	148
ANEXO C .....	161
Quadro C1.1 – Contagem de Partículas – Sala 1 .....	162
Quadro C1.2 – Classificação da Sala 1.....	162
Quadro C1.3 – Características da Sala 1 .....	162
Quadro C2.1 – Contagem de Partículas – Sala 2 .....	163
Quadro C2.2 – Classificação da Sala 2.....	163
Quadro C2.3 – Características da Sala 2 .....	163
Quadro C3.1 – Contagem de Partículas – Sala 3 .....	164
Quadro C3.2 – Classificação da Sala 3.....	164
Quadro C3.3 – Características da Sala 3 .....	164
Quadro C4.1 – Contagem de Partículas – Sala 4.....	165
Quadro C4.2 – Classificação da Sala 4.....	165
Quadro C4.3 – Características da Sala 4 .....	165
Quadro C5.1 – Contagem de Partículas – Sala 5 .....	166
Quadro C5.2 – Classificação da Sala 5.....	166
Quadro C5.3 – Características da Sala 5 .....	166

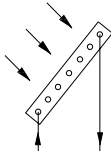



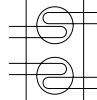


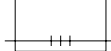
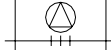



Quadro C6.1 – Contagem de Partículas – Sala 6 .....	167
Quadro C6.2 – Classificação da Sala 6 .....	167
Quadro C6.3 – Características da Sala 6 .....	167
Quadro C7.1 – Contagem de Partículas – Sala 7 .....	168
Quadro C7.2 – Classificação da Sala 7 .....	168
Quadro C7.3 – Características da Sala 7 .....	168
Quadro C8.1 – Contagem de Partículas – Sala 8 .....	169
Quadro C8.2 – Classificação da Sala 8 .....	169
Quadro C8.3 – Características da Sala 8 .....	169
Quadro C9.1 – Contagem de Partículas – Sala 9 .....	170
Quadro C9.2 – Classificação da Sala 9 .....	170
Quadro C9.3 – Características da Sala 9 .....	170
Quadro C10.1 – Contagem de Partículas – Sala 10 .....	171
Quadro C10.2 – Classificação da Sala 10 .....	171
Quadro C10.3 – Características da Sala 10 .....	171
Quadro C11.1 – Contagem de Partículas – Sala 11 .....	172
Quadro C11.2 – Classificação da Sala 11 .....	172
Quadro C11.3 – Características da Sala 11 .....	172
Quadro C12.1 – Contagem de Partículas – Sala 12 em Repouso .....	173
Quadro C12.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 12 em Operação .....	173
Quadro C12.2 – Classificação da Sala 12 em Repouso .....	174
Quadro C12.2.1. Classificação da Sala 12 em Operação .....	174
Quadro C12.3 – Características da Sala 12 .....	174
Quadro C13.1 – Contagem de Partículas – Sala 13 em Repouso .....	175
Quadro C13.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 13 em Operação .....	175
Quadro C13.2 – Classificação da Sala 13 em Repouso .....	176
Quadro C13.2.1. Classificação da Sala 13 em Operação .....	176
Quadro C13.3 – Características da Sala 13 .....	176
Quadro C14.1 – Contagem de Partículas – Sala 14 em Repouso .....	177
Quadro C14.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 14 em Operação .....	177
Quadro C14.2 – Classificação da Sala 14 em Repouso .....	178
Quadro C14.2.1 – Classificação da Sala 14 em Operação .....	178
Quadro C14.3 – Características da Sala 14 .....	178
Quadro C15.1 – Contagem de Partículas – Sala 15 .....	179
Quadro C15.2 – Classificação da Sala 15 .....	179
Quadro C15.3 – Características da Sala 15 .....	179
Quadro C16.1 – Contagem de Partículas – Sala 16 em Repouso .....	180
Quadro C16.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 16 em Operação .....	180
Quadro C16.2 – Classificação da Sala 16 em Repouso .....	181
Quadro C16.2.1 – Classificação da Sala 16 em Operação .....	181
Quadro C16.3 – Características da Sala 16 .....	181
Quadro C17.1 – Contagem de Partículas – Sala 17 .....	182
Quadro C17.2 – Classificação da Sala 17 .....	182
Quadro C17.3 – Características da Sala 17 .....	182
Quadro C18.1 – Contagem de Partículas – Sala 18 .....	183
Quadro C18.2 – Classificação da Sala 18 .....	183
Quadro C18.3 – Características da Sala 18 .....	183






## SIMBOLOGIA








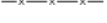











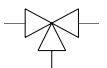
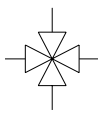


A representação esquemática dos equipamentos das instalações de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) necessita de símbolos a utilizar pelos profissionais em documentação técnica.

Os trabalhos de normalização internacional estão em curso, mas ainda não foram publicados.


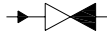
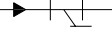


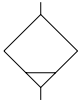







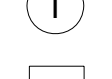







A presente Simbologia é uma base de trabalho, na recolha de símbolos mais utilizados, para a representação dos esquemas de princípio dos sistemas das instalações de AVAC.

Símbolo	Designação
	Colector Solar (Painel)
	Caldeira com Queimador a Ar insuflado [1]
	Caldeira com Queimador Atmosférico [1]
	Máquina Frigorífica – “Chiller”
	Máquina Frigorífica de Absorção – “Chiller de Absorção”
	Bomba de Calor – Água-Água [DIN 2481] - [1]
	Radiador [1]
	Convector [2]
	Ventilo-Convector [2]
	Aerotermino (unidade local de aquecimento do ar) [2]
	Pavimento Radiante [2]
	Permutador de Calor a Água [DIN 2481] - [1]

	Deposito de Acumulação de Água [1]
	Deposito de Produção de Água Quente com Resistência Eléctrica
	Deposito de Produção de Água com Permutador
	Resistência de Aquecimento [DIN 2481] - [1]
	Bateria de Aquecimento a Água quente [DIN 1946] - [1]
	Bateria de Arrefecimento a Água Refrigerada [DIN 1946] - [1]
	Bateria de Aquecimento por Resistência Eléctrica [1]
	Humidificador do Ar a Vapor [DIN 1946] - [1]
	Humidificador ou Lavador do Ar de Superfície Húmida [DIN 1946] - [1]
	Humidificador ou Lavador do Ar com Pulverização de Água [DIN 1946] - [1]
	Torre de Arrefecimento [DIN 2481] - [1]
	Recuperador de Calor Rotativo [1]
	Recuperador de Calor de Fluxos de Ar Cruzados
	Filtro de Ar [DIN 1946] - [1]
	Filtro de Ar Automático de Rolos [1]
	Atenuador de Som [2]

	Registo de Caudal de Ar
	Ventilador Centrifugo [ISO R 1219] - [1]
	Ventilador Helicoidal [1]
	Tubagem de Água Refrigerada – ida
	Tubagem de Água Refrigerada – retorno
	Tubagem de Água Quente – ida
	Tubagem de Água Quente – retorno
	Tubagem de Água de Condensação
	Ponto Limite de Fornecimento [2]
	Indicação de Caudal Constante [1]
	Indicação de Caudal Variável [1]
	Indicação do Sentido do Fluxo [IEC 244] - [1]
	Indicação de Convergência [1]
	Indicação de Divergência [1]
	Amortecedor Anti-vibrático [2]
	Compensador de Dilatação [2]
	Recolha de Condensados com Sifão [2]
	Electrobomba ou Circulador [ISO R 1219] - [1]
	Válvula de Duas Vias [ISO R 1219] - [1]
	Válvula de Três Vias [ISO R 1219] - [1]
	Válvula de Quatro Vias [ISO R 1219] - [1]
	Válvula de Esquadro [2]
	Válvula de Segurança Angular [2]



	Válvula Redutora de Pressão [2]
	Válvula Anti-retorno [ISO R 1219] - [1]
	Filtro de Água [2]
	Compressor de Fluido Refrigerante [ISO 1219] - [1]
	Vaso de Expansão Fechado [2]
	Purgador de Ar [2]
	Motorização Progressiva – Símbolo Geral [ISO R 1219] - [1]
	Motor Eléctrico [IEC 113] - [1]
	Actuador de Motor Eléctrico [ISO R 1219] - [1]
	Actuador Electromagnético [DIN 2481] - [1]
	Actuador Hidráulico ou Pneumático [ISO 1219 / ISEC 254] - [1]
	Sonda – Símbolo Geral [DIN 19228] - [1]
	Sonda de Temperatura [DIN 19228] - [1]
	Sonda de Radiação Solar [DIN 19228 / ISEC 606] - [1]
	Controlador de Humidade [IEC 298/9] - [1]
	Controlador de Temperatura [IEC 298/1] - [1]
	Controlador de Caudal de Ar [IEC 298/8] - [1]
	Controlador de Pressão [IEC 298/2] - [1]
	Controlador de Pressão Diferencial [IEC 298/2] - [1]
	Instrumento de Regulação e Programação - [1]
	Instrumento com Indicação de Medida – Símbolo Geral [ISO R 1219] - [1]

## Capítulo 1

### Introdução

Na manutenção das instalações técnicas especiais de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, correntemente designadas por AVAC, é importante preservar o bom estado dos equipamentos e sistemas para manter a Qualidade do Ar Interior. Mas, não é suficiente!

É necessário e fundamental que estas sejam correctamente aplicadas, de forma a não influenciar negativamente o equilíbrio sustentável do meio ambiente terrestre, bem como não utilizar indiscriminadamente sistemas com hidrofluorcarbonetos, ainda prejudiciais à camada do ozono, ou simplesmente relativizar a poupança de energia, porque se melhora a qualidade da envolvente dos edifícios ou, ainda, porque se utilizam programas de informática com optimização, mais ou menos apurada, dos consumos energéticos. Nesta conformidade, é imprescindível ter atitude organizacional.

É neste contexto que a análise organizacional no projecto dos sistemas e equipamentos e a consequente manutenção de melhoramento, das instalações de AVAC, estão directamente relacionadas com o consumo da energia e a Qualidade do Ar Interior, pelo que são objecto do presente tema desta dissertação.

No conceito dos sectores da actividade económica, a manutenção mais comum no sector secundário e ao qual estão englobadas as actividades industriais transformadoras, a construção e a produção da energia existe e possui uma sensibilidade crescente para se atingirem níveis elevados de disponibilidade e de segurança operacional dos sistemas e equipamentos associa-

dos [3]; enquanto que a evolução é limitada e financeiramente resistente no sentido de aumentar o seu âmbito generalizado ao sector terciário (serviços), que engloba os edifícios de escritórios, comércio, hospitais, etc., com reflexo no meio ambiental e na qualidade de vida do Homem. Embora, supostamente, haja o reconhecimento da sua importância no conjunto das actividades empresarias, constata-se que o conceito da manutenção dos sistemas de AVAC é bastante impreciso e, em muitos casos, feito de forma desapropriada com o objectivo de poupar dinheiro... ou então devido à simples ignorância [4].

Por outro lado, a manutenção das instalações de AVAC é limitada ou negada pelas empresas e podia gerar conhecimento, valor e riqueza, na presente sociedade moderna, tal como na metodologia da contabilização das actividades económicas, onde vários autores formariam o sector quaternário, constituído pelo ensino e a investigação (mas ainda não assumida) [5].

Teoricamente, todo o processo de projecto das instalações de AVAC deveria ser perfeito, não devendo haver necessidade de realização de testes para averiguar se os objectivos são atingidos. Mas, como é bem sabido, as ferramentas analíticas, os modelos desenvolvidos e julgados realizados pelos engenheiros não são perfeitos. Logo torna-se necessário realizar revisões de projecto e testes de desenvolvimento e de simulação de operação (quando necessário) para descobrir as possíveis falhas e, deste modo, ultrapassar as deficiências do nosso conhecimento [3].

Deste modo, a manutenção é o acumular de conhecimentos que origina projectos mais valorizados.

A ligação entre os dois campos, saber Projectar com pensamento na Manutenção, não é tarefa fácil e conseguir evoluir nesta conjuntura, infelizmente cada vez mais complexa, implica o conhecimento e a necessidade da experiência apurada, por forma a que o início de outros novos projectos de sistemas e equipamentos seja o mais eficaz possível, tendo sempre como objectivos primordiais a disponibilidade dos mesmos, a economia de energia, a segurança operacional e o ambiente, bem como a Qualidade do Ar Interior (QAI).

## **1.1 Relevância do Tema**

Na revista de climatização, de Jan./Fev. de 2001, é publicada uma entrevista efectuada à investigadora holandesa Philomena Bluysen, que se encontra à frente do Airless Project, sobre a qualidade do ar que respiramos no interior dos edifícios, a saber [6]:

“O “Airless Project” é um projecto europeu, que teve o seu início em 1998, e tem por objectivo obter informações sobre a instalação e a manutenção dos sistemas de AVAC e em que medida esses factores se relacionam com a QAI, incluindo a preocupação em procurar aferir como estes podem contribuir para resolver o “síndrome dos Edifícios Doentes”.

Em relação à existência de um grande problema e qual a gravidade real da situação, a entrevistada afirma “... de forma alguma se pode dizer que o problema é assim tão sério. Há muitos bons edifícios equipados com sistemas de AVAC, que foram bem instalados e estão sujeitos a uma manutenção periódica adequada. Mas a questão é que quando um sistema por deficiência da instalação ou manutenção não está a trabalhar correctamente, tal situação pode criar diversos problemas, nomeadamente ao nível da qualidade do ar interior.

E quanto à questão referente à sensibilização para a qualidade do ar interior ser coordenada com a questão da poupança energética, cuja actual conjuntura é de subida do crude, a questão da QAI não poderá correr o risco de ser considerada um assunto secundário?

“...Então se quer ir por aí eu vou directa ao assunto: por que é que temos edifícios? Não é para poupar energia! Mas sim para termos uma situação onde as pessoas possam trabalhar ou viver em condições saudáveis e de conforto. Na minha opinião essa é que deve ser a prioridade. A poupança da energia é que deve ser secundarizada. Por isso é que neste projecto nos concentramos primeiro nas estratégias para conseguir uma boa qualidade do ar interior. E só depois em tentar harmonizar esse facto com os consumos da energia.”

A propósito desta afirmação, não só, é imperativo a preocupação com a poupança de energia, mas, também, com o ar que se rejeita, conforme refere Sá Borges, a saber [7]:

“Ou será que espera um longo caminho para que possa vir a ser objectivo de cuidados eficazes e generalizados, por um procedimento já iniciado por passos tímidos.

Com efeito, o Homem tem aprendido ao longo dos séculos que aquilo que rejeita não pode ser simplesmente abandonado.

Embora no século XIV já existissem determinações régias para que se tentasse solucionar o problema da sujidade nas ruas, concretamente em Lisboa, objecto das preocupações mais prementes, foi já no século XV que D. João III determinou que “existissem homens pagos para limpar a cidade”. E eram quatro, já na terceira década do século XVI...

Sempre com lenta evolução no século XVII, foi determinado que os dejectos fossem transportados para o rio, mas com recomendações severas: antes do amanhecer!

E foi necessário esperar pelo século XVIII para vir a ser decretado que não podia lançar-se águas nem lixos para as ruas, nem de dia, nem de noite....

Se tal medida tem sido adoptada – e cumprida! – séculos antes, ter-se-ia impedido o nosso Eça de celebrar o procedimento de “água vai” com que o jovem apaixonado teria sido enxovalhado... .

Ainda no século XVIII, e quando o Marquês de Pombal dedicava a sua atenção à reconstrução da área que veio a ser a Baixa Pombalina, já em Paris e em Londres existiam serviços de redes urbanas de esgoto que foram visitadas por engenheiros militares para ali enviados pelo Marquês com a incumbência de recolha de toda a informação disponível e aplicável à construção de uma semelhante em Lisboa.

Como sempre, e em todas as áreas, é possível beneficiar da recolha do saber e da experiência de quem mais avançado está; pena é que no campo dos conhecimentos o processo de transmissão não seja espontâneo, como espontâneo é o fornecimento do calor pela fonte quente à fonte fria....

Não sendo propósito específico fazer uma investigação do Homem para se aperceber de como é importante cuidar daquilo que rejeita, pareceu, contudo, importante relembrar fugazmente quantos séculos passaram até se atingir o estado em que hoje nos encontramos.”

O curso dos acontecimentos e factos históricos, desta citação, originam o pensamento imediato de que pode esperar um longo caminho a recuperação da energia e o grau de limpeza do ar expulso pelos sistemas de AVAC, caso não sejam estudadas e tomadas medidas de sensibilização e implementação das mesmas.

Em síntese, nestas circunstâncias, a relevância do tema surge na oportunidade da análise e diagnóstico da possibilidade da simbiose entre a QAI, a poupança de energia e do ar que os sistemas de AVAC expulsam no exterior.

## 1.2 Caso de Estudo

No palco da manutenção, os técnicos da especialidade das instalações de AVAC observam com particular ênfase o cenário referente à QAI. Indiscutivelmente muito importante, atendendo ao facto de que se trata do ar que todos respiram nos edifícios.

Com efeito, existe uma crescente preocupação e tomada de consciencialização, quanto ao problema da QAI, anunciado em artigos da imprensa, diagnosticado em revistas da especialidade, e expressos em auditorias e limpeza dos sistemas de AVAC, designadamente em edifícios de escritórios, comercio, indústria e outros.

Tudo, porque onde vivemos a maior parte do nosso tempo não deve apresentar qualquer risco para a nossa saúde e deve ser sentido como ar puro e agradável em vez de viciado, abafado e irritante.

Mas, em particular, há as salas limpas da indústria farmacêutica, dos processos tecnológicos e de cirurgia, dos blocos operatórios dos hospitais. Estas exigem condições específicas relacionadas com o tamanho e a concentração das partículas existentes no ar interior.

A QAI é abrangente e passa por todos, acima de tudo, por uma forte interligação entre projectistas, instaladores e equipas de manutenção, sem esquecer fabricantes e utentes [8].

De facto, não há nada que se resolva na instalação sem que antes se tenha resolvido no papel, pelo que, é obvio ser este o material de construção mais barato que se conhece, na procura da “melhor solução” ou pelo menos das melhores soluções, justificando-se na fase inicial *o saber pensar*, plena e amplamente através do estudo de alternativas, por forma a originar o projecto que satisfaça as sempre presentes exigências da QAI, ambiental e económica.

A fase seguinte, *saber fazer*, diz respeito à instalação dos sistemas, equipamentos, comando e controlo, que requer cumprimento de normas e regulamentos, e se deseja ser correctamente bem executada.

Mas, a QAI só é possível de existir se todo o processo de gestão e recuperação da energia no tratamento do ar interior for correctamente aplicado e fiável, sendo o conceito de fiabilidade intrinsecamente função da qualidade da manutenção das instalações de AVAC, cuja definição poderá ser:

“Qualidade de uma instalação de AVAC é a totalidade das características energéticas e funções dos diferentes equipamentos e sistemas que satisfazem os desejos explícitos ou implícitos dos seus utentes, dentro de determinados pressupostos sociais e económicos” [9].

Porém, a intervenção da manutenção passa por *saber gerir* as diferentes e coordenadas acções de intervenção, sem perdas de tempo nas actuais e futuras instalações de AVAC, até porque não é a lei que cria e modela a realidade, pelo contrário, é esta que a vai determinar numa lógica necessária de constante ajustamento à sua dimensão evolutiva.

Contudo, o estado actual da arte encontra-se perante um problema estrutural do ponto de vista da engenharia, dado o sempre presente poder económico se sobrepor, regra geral e infelizmente, ao interesse comum, associado ainda, ao espírito predominante em só admitir mudanças graduais, que são impostas pelo poder político, no que diz respeito ao equilíbrio ecológico da Terra e da qualidade de vida do Homem.

Nesta perspectiva é imperioso conjugar os três saberes: *Pensar, Fazer e Gerir*, de forma a cuidar da energia, que se gasta, do ambiente interior, que o Homem habita, e do ar que se rejeita no exterior, vital à sua existência. Associando estes à QAI das salas limpas da indústria farmacêutica, devendo ser as salas de cirurgia dos hospitais de qualidade semelhante, como sendo as mais relevantes para a condição humana, é oportuno estudar-se a influencia da renovação do ar, dos sistemas de AVAC, neste ambiente.

Nesta conformidade, como caso de estudo, apresenta-se o controlo de condição da Qualidade do Ar Interior e o processo de classificação das salas limpas, constituintes de uma área de injectáveis, de um laboratório farmacêutico existente, de acordo com a Norma ISO 14644-1 de 1999-05-01.

Para o feito, foram realizados ensaios e com os dados recolhidos, classificaram-se as salas e faz-se uma análise da renovação do ar do sistema de AVAC, numa abordagem da manutenção de melhoramento através do balanceamento do mesmo.

Independentemente da classificação particular, que as diferentes salas destes locais possuem, objecto desta dissertação, as restantes considerações referentes à poupança de energia e ao ar de expulsão são válidas e possíveis de aplicar a outros sistemas de AVAC.

Para melhor perceptibilidade e clarificação das instalações de AVAC, é feita uma classificação e compilação sucinta dos principais sistemas e equipamentos aplicados no tratamento do ar interior.

### **1.3 Organização da Dissertação**

A presente dissertação é constituída por oito capítulos, a saber:

- **Capítulo 1**

É constituído pela introdução, a relevância do tema e o caso de estudo que origina o trabalho desenvolvido nesta dissertação.

- **Capítulo 2**

Promove o saber projectar a gestão da manutenção, com inicio na análise organizacional do projecto, o cumprimento de Normas e vontade de fazer melhor, nas acções a desenvolver na fase do projecto, nas acções a implementar na fase de execução da obra e sua fiscalização, e no planeamento inicial da manutenção.

- **Capítulo 3**

Diz respeito às diferentes fontes de energia primária, às definições de energia e procura da energia em Portugal.

- **Capítulo 4**

Promove a produção de energia térmica, para as instalações de AVAC, através do Solar Térmico Activo.

- **Capítulo 5**

Inicia com a história sucinta da ventilação e do Ar Condicionado e caracteriza os principais sistemas das instalações de AVAC.



- **Capítulo 6**

Caracteriza os principais equipamentos aplicados nos sistemas das instalações de AVAC, particularizando a relevância da filtragem do ar e os recuperadores de calor na obtenção da melhoria da qualidade do ar ambiente.

- **Capítulo 7**

Apresenta o caso de estudo, Qualidade do Ar Interior das Áreas Limpas da Indústria Farmacêutica, referente ao controlo de condição e processo de classificação das salas limpas, constituintes de uma área de injectáveis, de um laboratório farmacêutico existente, de acordo com a Norma ISO 14644-1, de 1999-05-01. Expõe os ensaios realizados e com os dados recolhidos nos testes classifica as salas e faz uma análise da renovação do ar do sistema de AVAC, numa abordagem da manutenção de melhoramento através do balanceamento do mesmo.

- **Capítulo 8**

Apresenta as principais conclusões do trabalho realizado e perspectiva futuras acções complementares.

## Capítulo 2

### Projectar a Gestão da Manutenção

#### 2.1 Generalidades

A gestão da manutenção tem início na fase do projecto e é deontologicamente uma obrigação da responsabilidade global dos Projectistas.

Na fase da concepção de um edifício, projecto, são muitos os autores das diferentes especialidades envolvidos, dependendo o número de responsáveis da complexidade do mesmo. Admita-se, para o efeito, o conjunto de técnicos associados às especialidades expressas na delineação do Anexo A.

Facilmente se percebe que a primeira acção a considerar é efectuar a análise organizacional da comunicação (sistema de informação) entre os diferentes actores, tal como todos os sistemas de informação em gestão da manutenção estão baseados num conceito de organização [10].

Reciprocamente, quando se inicia o planeamento do sistema de informação, encontra-se a análise da envolvente e a análise tecnológica [10]. Por similitude, tem-se a arquitectura em diálogo com a engenharia, para o estabelecimento da envolvente mais conveniente do edifício, tanto energética como luminosa, associado ao sistema de AVAC pretendido e face aos possíveis condicionalismos de flexibilidade requeridos.

Porém, a especialidade de construção civil, também, é uma condicionante, devido à localização dos ductos verticais ou horizontais, para a passagem de tubagens, nem sempre possíveis onde

desejáveis, pesos dos equipamentos, etc. .

Sempre presente, no conjunto das especialidades, encontram-se a segurança e implicitamente pensa-se na acessibilidade às diferentes instalações.

É nesta fase requerida uma elevada comunicação para garantir o planeamento ajustado das necessidades de cada especialidade e para que a arquitectura encontre uma solução integrada do conjunto de pretensões.

Contudo, nem sempre assim acontece, há falta de um bom sistema de informação e “... grande parte dos casos do insucesso é de ordem não técnica.” [10].

## **2.2 Análise Organizacional do Projecto**

A arquitectura é a arte de projectar um edifício, realizada pelo arquitecto que, regra geral, é o coordenador do projecto. Nestas circunstâncias, este é o elo de ligação das diferentes informações recebidas, referentes às necessidades de cada especialidade, integrando-as no desenvolvimento da sua edificação.

O primeiro estágio da sua acção deve iniciar-se no diálogo com a Engenharia Energética, no estabelecimento da simbiose que produza a conciliação da arte com o mínimo dispêndio de energia. A orientação do edifício, relacionada com as áreas fenestradas, sombreamento e tipo de vidro a aplicar, conjugados com uma envolvente opaca criteriosamente isolada, são factores fundamentais e importantíssimos para a criação de uma obra de arte energeticamente económica.

Só é possível de concretizar esta finalidade com actores experientes e sensíveis aos problemas energéticos, actuais e futuros.

A experiência e a sensibilidade adquirem-se gradualmente, acompanhando e observando atentamente os mais conhecedores e as evoluções naturais dos equipamentos, materiais e processos. É o saber pensar no amanhã com início hoje.

Estas razões são importantes na escolha dos projectistas, que constituirão a estrutura do sistema de informação e se quer organizada.

O segundo estágio, tão importante quanto o primeiro, diz respeito à segurança e acessibilidade. Estas coabitam uma com a outra. Na realidade, não é possível sair de um edifício em sinistro, por

exemplo incêndio, se não existirem pelo menos duas saídas, sendo uma alternativa da outra, na hipótese de uma delas se encontrar obstruída.

Consequentemente, é necessário prever espaços para as instalações técnicas, equipamentos e respectivos acessos, de preferência generosos. Nem sempre é possível, mas pelo menos devem ser considerados os mínimos indispensáveis. É pensar na manutenção e na segurança das pessoas, que a fazem. Assim como, na eficiência dos equipamentos. Uma máquina de produção de energia térmica necessita de espaço para uma boa circulação de ar, caso contrário não funciona eficazmente.

A arquitectura necessita de ter conhecimento dos espaços, na fase inicial do seu projecto, bem como da sua localização preferencial, para análise e estudo da sua integração no edifício. Estes elementos devem ser bem estimados e atempadamente fornecidos, pelas diferentes especialidades, sob pena do processo evoluir e não ficarem devidamente contemplados. As estimativas não podem ser muito erróneas, em nenhuma das especialidades, senão iniciar-se-á um processo de redução das suas áreas.

Pode ser um período conturbado do processo, no interior da organização, caso não haja uma apurada experiência técnica. Se esta não existir, será difícil providenciar as referidas áreas sem realizar os cálculos para determinar as potências térmicas, que originam a selecção dos equipamentos, o dimensionamento das redes e consequentes espaços que vão ocupar, bem como as necessárias áreas envolventes e acessibilidades aos mesmos. Demora-se tempo e a arquitectura não espera.

Em causa estão, também, os percursos e meios de movimentação utilizados, para colocar os equipamentos nos locais, não só inicialmente, mas fundamentalmente quando no fim do seu ciclo de vida útil têm de ser substituídos.

Esta fase requer uma atenção muito particular no acompanhamento, sensibilidade e apoio à arquitectura, necessitando de sucessivas análises e sugestões técnicas, por forma a não desistir das dificuldades, que muitas das vezes se julgam inultrapassáveis, por motivo de inexperiência, falta de Normas e/ou regulamentos, de vontade em querer fazer melhor ou de deontologia. Se não, atinge-se o fenómeno da saturação, o impasse a que se chega, é o deixar andar e logo se resolve em obra, quando o edifício estiver em construção. Neste pensamento, por vezes não

revelado, encontra-se implícita a esperança de uma solução técnica proveniente do instalador, que talvez surja devido ao seu conhecimento e experiência, mas se este a não possuir a decisão final é uma solução mal resolvida.

### **2.3 Normas e Vontade de Fazer Melhor**

Qualquer pessoa, que exerce determinada actividade, procura colher das dúvidas, que se lhe deparam, das dificuldades que encontra e dos desaires que porventura sofre, o maior número possível de ensinamentos, que sejam susceptíveis de vir a beneficiar a sua actividade futura. Estabelece assim, para uso próprio, um conjunto de regras ou normas de actuação, cuja acumulação ao longo da vida constitui o que é habitual designar-se por experiência [11]. Está de certo modo a fazer uma normalização ao nível individual, com influência na sua forma de pensar, estar e de se exprimir.

Neste contexto, a Norma é a linguagem do conhecimento, da experiência acumulada, tanto mais universal quantos aqueles que a ela aderem, em permanente evolução. Pelo que, em todas as especialidades existem Normas e/ou regulamentos a cumprir, cujo objectivo é suprir a falta de experiência. Mas, não é possível nem desejável que haja normas para tudo. Seria, com certeza, monótono e enfadonho usarmos todos fato, camisa e gravata da mesma cor.

No desenvolvimento do trabalho de projecto e na falta de norma resta o dever na vontade de querer fazer o melhor. Mas, o que pode ser para o interlocutor a melhor deontologia, pode não servir ao outro e vice-versa. Nestas circunstâncias, surge a divergência, regra geral, económica.

Se há norma, existe obrigatoriedade, o custo é inerente. Não havendo, deontologicamente a solução é boa, pensa-se no investimento.

### **2.4 Investimento Económico**

O promotor, dono da obra, pretende a melhor qualidade com o melhor preço, isto é, investindo gastando o menos possível. Contudo, este pode ser ou não o utilizador da edificação. Se for é mais sensível à solução deontologicamente correcta, e esta com certeza que tem a ver com espaço, acessibilidades e segurança, bem como pensa na manutenção. Caso contrário, pensa objectivamente no negócio e tudo o restante é desperdício. Falar em economia de energia e benefícios para a manutenção são assuntos interessantes, mas desprezados, mesmo que o

interlocutor, persistente, faça referência ao interesse, como argumento de venda, do facto do edifício dispor destas características.

As instalações técnicas e o espaço ocupado por estas são desperdício de dinheiro.

Este pensamento está presente desde o início, facto pelo qual, o promotor, regra geral, selecciona a equipa projectista em função do preço (valor estimado da obra) em detrimento da sua capacidade técnica, conhecimento e experiência curricular acumulada, incluindo a arquitectura.

De uma forma generalizada, qualquer concurso solicita o currículo individual dos diferentes responsáveis da estrutura projectista, mas, na análise global verifica-se, muitas vezes e infelizmente, que tem sempre maior peso o valor apresentado da estimativa da obra e ou o valor dos honorários para a realização do projecto.

Porém, o promotor, regra geral, não dispõe de uma equipa técnica (pluridisciplinar) capaz, ou de elementos de informação suficientemente válidos, para realizar uma classificação de valores, por forma a seleccionar em consciência quem melhores atributos possui.

Razões pelas quais se assiste, frequentemente, a projectos que apresentam valores de obra significativamente inferiores ao custo final da mesma, para não referir o total esquecimento das preocupações com a manutenção.

Ao pensar em Projectar a Gestão da Manutenção, é imprescindível, que exista, uma estrutura de projectistas conceituados, tecnicamente conhecedores da sua especialidade e deontologicamente empenhados em acções de comunicação, que devidamente coordenados, constituam um bom sistema de informação, não permitindo que grande parte das causas do insucesso seja de ordem não técnica [10]. Para o efeito, é preciso ordem na engenharia e que haja uma Norma de valores, que se imponham aos interesses económicos, isto é, um código de boas práticas claro e transparente para fornecedores e utilizadores, facilitando por essa via o exercício de gerar uma cidadania activa.

## **2.5 Projecto da Gestão da Manutenção das Instalações de AVAC**

No projecto de gestão da manutenção das instalações de AVAC, de qualquer edifício, assume particular relevância o facto destas ocuparem espaço e consumirem energia, com grande influência nos custos de investimento e de exploração.

Com efeito, é determinante na fase do projecto estabelecer com a arquitectura a simbiose energética, de forma a ter em consideração os factores principais seguintes:

- Estudo criterioso da envolvente do edifício, por forma a obter melhor qualidade térmica que a estabelecida no RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro;
- Sensibilização da arquitectura para a aplicação de materiais de construção “limpos”, tendo em consideração o novo IEQ (Interior Equipment Quality). Refira-se o facto deste se encontrar numa base de dados sobre factores de poluição no interior dos edifícios, designado por Sophie, obtido através de testes de materiais feitos ao longo dos anos, permitindo dados laboratoriais que ajudarão na escolha dos materiais que irão poluir menos o ar interior de um edifício. Os dados dizem respeito a emissões químicas e informação toxicológica. De comparações e exames de materiais, e de projecções/previsões de concentrações químicas de determinados materiais, com fontes de poluição seleccionadas, tendo em conta determinado rácio de ventilação [12];
- Análise ponderada da localização no exterior dos equipamentos de condensação dos sistemas de AVAC, que necessitam de boa circulação de ar e produzem ruído;
- Análise ponderada da localização das Centrais Técnicas para a instalação dos equipamentos volumosos, tais como: Caldeiras, Máquinas Frigoríficas, Unidade de Tratamento do Ar, etc., tendo em consideração a equidade das redes de fluídos, os espaços para movimentação, manutenção e possibilidade de substituição dos mesmos, bem como o ruído e/ou vibrações, que possam transmitir;
- Estabelecimento criterioso e com equidade da localização dos ductos horizontais e verticais, para montagem das redes de fluidos;
- Diligência na localização das captações de ar exterior (novo) e expulsões do ar viciado dos sistemas de AVAC, tendo em consideração a orientação e a predominante dos ventos, fontes de poluição exterior (gases, odores, águas estagnadas, etc.) e afastamento suficientemente generoso entre elas. Em particular, refira-se o facto da arquitectura, muitas das vezes, desenhar grelhas para as admissões e expulsões do ar não tendo em consideração a área útil necessária para a sua passagem, originando níveis de ruído inconvenientes e o consequente

- aumento das perdas de carga a vencer pelos ventiladores;
- Coordenação da implantação dos equipamentos de difusão (difusores) e de captação (grelhas) do ar nos tectos falsos, conjuntamente com as restantes especialidades;
  - Necessidade de acuidade no critério do estabelecimento das alturas do tecto falso, para montagem das redes de fluidos e possibilidade de vistoria, manutenção ou substituição das mesmas;
  - Necessidade de acuidade no critério de localização de painéis ou portas, para acessibilidade às redes e/ou equipamentos instalados em tectos falsos e ductos, regra geral, estes últimos de resistência ao fogo;
  - Estudo ponderado da acessibilidade e percurso, para movimentação dos equipamentos a instalar nos locais técnicos interiores ou exteriores ao edifício, quer na fase de obra ou posterior substituição.

O primeiro estágio de acções enumeradas, da fase do projecto das instalações de AVAC, diz respeito ao início de um conjunto, que requer uma sequência de acordo com a delineação, da figura 2.1.

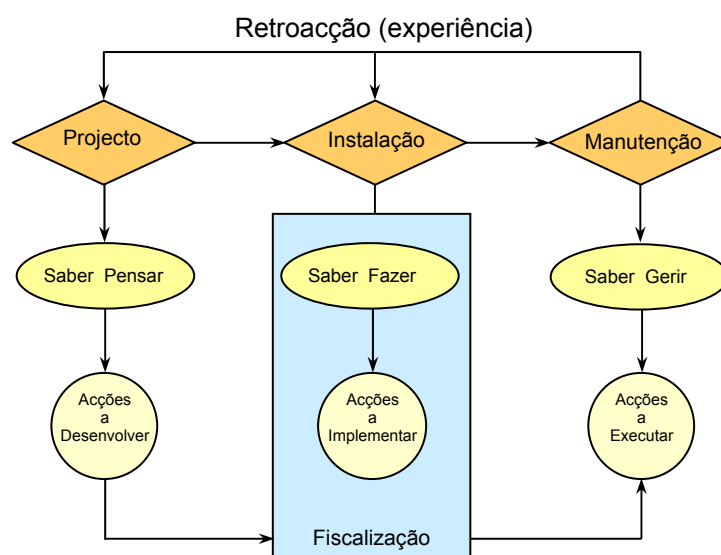


Fig. 2.1 – O saber pensar, o saber fazer e o saber gerir no acumular de experiências que origina projectos mais valorizados.



## 2.6 Acções a Desenvolver na Fase de Projecto

Na elaboração do projecto de AVAC, constituído pelas fases de Estudo Prévio, Projecto Base e Projecto de Execução, desenvolver-se-ão as principais acções, a saber:

- Realização dos cálculos das trocas de calor através da envolvente e balanços energéticos, de forma criteriosa, com o objectivo de obter valores melhores que os determinados pelos RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios), Decreto-Lei nº 118/98, de 7 de Maio;
- Necessidade de acuidade na aplicação de sistemas de produção de energia térmica, com recurso a equipamentos na utilização de energias alternativas;
- Necessidade de acuidade na aplicação dos sistemas de AVAC, utilizando equipamentos com recuperação de energia;
- Necessidade de acuidade na escolha do conjunto de sistemas, que constituirão as instalações de AVAC, de acordo com a finalidade dos diferentes espaços existentes no edifício, bem como, previsível flexibilidade e habitabilidade do mesmo. Inclusão de sectores e redundância, ponderada, de acordo com os objectivos pretendidos pelo Dono da Obra;
- Elaboração dos esquemas de princípio de funcionamento da produção de energia térmica e redes de distribuição, convenientemente dotadas de sectores e seccionadas nas interligações aos equipamentos, por forma a garantir intervenção nestes e/ou em circuitos, sem perturbações de continuidade do funcionamento das restantes. Inclusão dos critérios de controlo pretendidos (sensores e monitorização), e de outros considerados essenciais à explicitação da instalação;
- Elaboração dos sistemas de comando e controlo, dos diferentes sistemas das instalações de AVAC, e proposta do Sistema de Gestão Técnica, caso não se defina a solução por falta da equipa de manutenção;
- Elaboração de listagem dos equipamentos consumidores de energia eléctrica e sua localização, para definição do número de quadros eléctricos e potência de cada um deles, fornecendo estes elementos ao projectista da especialidade;

- Estabelecimento e enumeração dos equipamentos e/ou sistemas de AVAC a funcionar em situações de emergência (falta de energia eléctrica da rede, incêndio, outros...), de acordo com os requisitos pretendidos pelo Dono da Obra, para contabilização estimada dos consumos eléctricos, e fornecimento destes elementos ao projectista da especialidade;
- Estabelecimento e enumeração dos equipamentos com peso relevante e sua área de ocupação, para fornecimento destes elementos ao projectista da especialidade, com a finalidade de projectar os respectivos maciços e contemplar no projecto da estrutura as correspondentes cargas. É conveniente acompanhar o desenvolvimento do pormenor de construção do maciço de modo a evitar a transmissão de vibrações e/ou propagação de ruídos através da estrutura;
- Estabelecimento e enumeração dos equipamentos que produzem condensado e fornecimento destes elementos ao projectista da especialidade, para projectar a respectiva rede de tubagem;
- Estabelecimento e enumeração dos equipamentos que necessitam de água potável e fornecimento destes elementos ao projectista da especialidade, para projectar a respectiva rede de tubagem;
- Estabelecimento, enumeração, localização e potências sonoras dos equipamentos, que produzem ruído e fornecimento destes elementos ao projectista da especialidade, para projectar a insonorização dos respectivos locais. Definição dos equipamentos que necessitam de ser insonorizados;
- Estabelecimento, enumeração e localização dos equipamentos que necessitem de gás e fornecimento destes elementos ao projectista da especialidade, para projectar a respectiva rede;
- Realização de cálculos criteriosos, para determinação das perdas de carga existentes, nas redes de fluidos, regra geral, de ar e água (condutas e tubagens), para determinação das pressões a vencer pelos ventiladores e electrobombas;
- Elaboração das peças desenhadas, plantas, cortes, pormenores e eventualmente alçados, a escala convenientemente, com os traçados das redes de fluidos, localização dos equipamentos e indicação dos pontos de captação do ar exterior, e de expulsão do ar viciado. Desenhos com os traçados dos caminhos de cabos eléctricos, esquemas dos quadros

eléctricos de potência, comando, controlo e alarme, com identificação de todos componentes eléctricos necessários para cada equipamento dos sistemas de AVAC.

Nos traçados das redes de condutas deverão ser indicadas, de forma criteriosa, as portas de acesso para inspecção, vistoria e limpeza do seu interior.

Em particular, os desenhos das Centrais Técnicas, plantas e cortes, elaborados a escala conveniente, deverão conter a localização de todos os equipamentos, detalhando e cotando, na medida do possível, os elementos de ligação e fixação;

- Estabelecimento dos limites de fornecimento, com as restantes especialidades, principalmente: electricidade, águas potáveis, águas residuais e gás;
- Elaboração das peças escritas, que incluirão:

Memória Descritiva e Justificativa, descrevendo os sistemas e equipamentos previstos, o seu funcionamento, comando e controlo, das soluções adoptadas.

Deverá, complementarmente, incluir parâmetros e cálculos do dimensionamento, métodos dos ensaios das instalações e cláusulas específicas da empreitada, mencionando designadamente obrigações e responsabilidades do Adjudicatário.

Especificações Técnicas de todos os equipamentos e materiais a aplicarem na montagem das redes. Para o efeito, a descrição de cada equipamento conterà, no essencial, a sua finalidade, constituição, construção, normas de fabrico e de homologação, bem como de todas as características técnicas específicas, para a correcta e explícita selecção do mesmo. Relativamente aos materiais, a aplicar na montagem das redes, a descrição deverá ser explícita, quanto à finalidade, normas de fabrico e de homologação dos elementos constituintes, bem como de execução.

Lista de Medições, com quantificação ordenada, de todos os equipamentos, materiais e acessórios, que constituem as instalações de AVAC.

Estimativa Orçamental, realizada com base na lista de medições, de forma a obter um valor aproximado do investimento a efectuar pelo Dono da Obra.

Com o projecto de execução elaborado, é possível, ao Dono da Obra, consultar diferentes empresas instaladoras, existentes no mercado, e obter propostas dos custos efectivos do investimento das instalações de AVAC. Mas, é importante que o projecto esteja bem elaborado e quantificado, para evitar custos adicionais devidos a erros ou omissões.

Por último, as propostas serão comparadas e avaliadas técnica e economicamente, com adjudicação à empresa que, no conjunto global da apreciação, melhores condições apresenta ao Dono da Obra.

## **2.7 Acções a Implementar na Fase de Execução da Obra**

Adjudicadas as instalações de AVAC, o empreiteiro iniciará os trabalhos de montagem dos sistemas, promovendo as acções a implementar seguintes:

- Análise ponderada do projecto de execução de AVAC, verificação e/ou confirmação de alterações de arquitectura da obra e esclarecimento de situações dúbias, designadamente de coordenação com as outras especialidades;
- Providenciar um armazém para arrumação dos equipamentos e materiais a montar, quando chegam à obra;
- Cumprimento das Regras da Boa Arte na execução das instalações;
- Cumprimento das Normas e Regulamentos em vigor, apresentando conjuntamente com os equipamentos os correspondentes certificados;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções dos sistemas de comando e controlo dos sistemas das instalações de AVAC, em conformidade com o Sistema de Gestão Técnica adoptado;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções das potências eléctricas dos quadros, de acordo com os equipamentos adjudicados e a instalar;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções dos pesos, das dimensões dos equipamentos adjudicados, bem como, dos maciços para assentamento daqueles e de acordo com as recomendações dos fabricantes;

- Verificação, confirmação e/ou indicação de todas as aberturas existentes na construção civil (ductos e paredes), para passagem das redes de fluidos;
- Verificação, confirmação e/ou indicação dos níveis de ruído dos equipamentos adjudicados;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções dos limites de fornecimento;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções das perdas de cargas, existentes nas redes de fluidos, designadamente de ar e água, que determinam as pressões a vencer pelos ventiladores e electrobombas. Situação que irá permitir a encomenda dos equipamentos adjudicados;
- Verificação e confirmação da resolução dos atravancamentos, de todos os equipamentos e redes a montar nos diferentes locais, ou indicação de problemas existentes a resolver;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções dos esquemas dos quadros eléctricos de potência, comando, controlo e alarme das instalações de AVAC;
- Elaboração dos desenhos, a escala conveniente, para montagem e construção de todas as redes de fluidos e caminhos de cabos, detalhando os troços, os atravessamentos e os suportes dos diferentes sistemas. Nos traçados das redes de condutas deverão ser indicadas as localizações das portas de acesso para inspecção, bem como os orifícios para introdução de sondas de medição;
- Elaboração dos desenhos, a escala conveniente, com localização e implantação de todos os equipamentos, detalhando e cotando os diversos elementos de ligação e fixação;
- Verificação do acabamento regular e plano dos ductos verticais, horizontais e plenos, executados em alvenaria, e que servem para escoamento do ar dos sistemas de AVAC;
- Verificação das dimensões e áreas de passagem das grelhas, designadamente das projectadas pela arquitectura, e que servem para captação ou expulsão do ar;
- Verificação, confirmação e/ou indicação das correcções a efectuar nos painéis amovíveis ou portas, para acessibilidade às redes e/ou equipamentos, instalados em tectos falsos e ductos;
- Execução correcta das redes de fluidos, aplicando pendurais impeditivos de fenómenos de condensação e transmissão de vibrações;

- Aplicação correcta dos isolamentos térmicos, apresentando superfícies lisas, regulares e uniformes, cimentadas nas sobreposições, incluindo barreiras de vapor quando utilizadas;
- Aplicação correcta de juntas flexíveis, em todas as redes de fluidos, com ligações a equipamentos;
- As redes de condutas deverão dispor de orifícios providos de tampas estanques e facilmente amovíveis, criteriosamente escolhidos (cumprimento de distâncias recomendáveis a equipamentos e singularidades), para introdução de sondas de leitura da temperatura, humidade, velocidade e pressão;
- Diligência no tapamento das redes de fluidos, após interrupção das montagens, evitando acumulação de poeiras no seu interior;
- Diligenciar todas as selagens das redes de fluidos, que atravessam todos os elementos físicos construtivos, designadamente os de corta-fogo e cumprindo as recomendações de segurança;
- Efectuar o balanceamento das redes de fluidos e ensaios dos diferentes sistemas das instalações de AVAC.

## **2.8 Fiscalização da Obra**

A garantia da qualidade da obra é estabelecida pelo grau da sua fiscalização, representante do Dono da Obra, sendo o elo de ligação entre as equipas projectista, instalador e de manutenção. É a esta que compete o cumprimento do projecto de execução de AVAC, supervisão da construção e a entrega da instalação à gestão da manutenção.

Com efeito, à melhor concepção não corresponderá certamente a melhor construção se, durante esta, não estiverem presentes os princípios de origem daquela e se os métodos construtivos não obedeceram às especificações técnicas, Normas e Regulamentos em vigor [13]. Neste contexto, é imprescindível um técnico especialista experiente, cuja missão terá como principais objectivos:

- Acompanhamento contínuo e integral de todos os trabalhos globais a decorrer na obra e em particular os das instalações, com cumprimento das Especificações Técnicas, Normas, Regulamentos em vigor e Regras de Boa Arte;
- Solicitar o projectista para esclarecimentos e/ou possíveis omissões no projecto;

- Diligência no estudo atempado de situações resultantes de alterações de arquitectura da obra;
- Solicitar o projectista para tomada de conhecimento da conformidade do decurso dos trabalhos de acordo com o projecto;
- Registo fotográfico da evolução da obra, condição fundamental, principalmente das acções correctivas necessárias efectuar, resultantes da sua incorrecta execução;

Com a aproximação do final da obra, há que realizar os ensaios, proceder à sua recepção, providenciar as licenças de utilização e necessariamente organizar toda a informação registada e acumulada, durante a execução dos trabalhos, e titular esta de Processo de Obra.

## **2.9 Planeamento Inicial da Manutenção**

Com a conclusão da obra entram em funcionamento, efectivo, as instalações técnicas de AVAC e, conseqüentemente, em acção a sua equipa de manutenção. É esta que vai ter de saber executar a operacionalidade do conjunto de sistemas e equipamentos e garantirá a Qualidade do Ar Interior. Mas, tal, só é possível se tiver o completo conhecimento das instalações existentes. Pelo que, a entrada em actividade da equipa de manutenção deve verificar-se, preferencialmente, na fase do projecto de execução, ou não sendo possível, quando da realização dos ensaios, e receber da Fiscalização o Processo de Obra. Só com este documento é possível organizar e implementar uma eficiente condução das instalações. Com efeito, destaca-se como relevante no planeamento inicial da manutenção o conhecimento de [14]:

- Endereços e contactos dos diferentes fabricantes e representantes dos equipamentos e materiais instalados;
- Garantias e prazos, já negociados e estabelecidos na fase de Adjudicação da instalação, dos fornecedores dos equipamentos e materiais, incluindo os de execução da instalação;
- Verificação e confirmação da codificação de todos os equipamentos instalados;
- Existência de Manual Técnico de construção, recomendação, condução, verificação, manutenção e reparação de possíveis avarias para cada equipamento instalado;
- Mapa de peças de reserva, integrado no projecto e devidamente preenchido e fornecido pelo instalador, necessário para cada equipamento, em particular dos filtros de ar, tendo em consideração o número de horas previsível de durabilidade de funcionamento;

- Mapa com o registo dos valores obtidos nos ensaios dos diferentes sistemas e equipamentos, constituintes das instalações de AVAC;
- Arquivo das Telas Finais (peças desenhadas);
- Operacionalidade das instalações em situações de emergência, por exemplo, de incêndio ou falta de energia eléctrica;
- Instrução do pessoal da manutenção na verificação dos equipamentos e sistemas;
- Estabelecimento dos horários de funcionamento das instalações, com desfasamento estimado para o arranque e a paragem das mesmas, em função do período de ocupação;
- Acções de simulação das instalações em situação de emergência de incêndio. Esta situação é peculiar e de extrema importância, dado o facto dos sistemas de desenfumagem (extracção de fumos, em caso de incêndio), regra geral, de acção forçada, fazerem parte integrante das instalações de AVAC, que possuem sistemas cujas redes de ar contêm registos corta-fogo, quando atravessam diferentes compartimentos de fogo, sendo necessário testar a sua operacionalidade, conjuntamente com a paragem destes e o arranque dos outros (desenfumagem);
- Estabelecimento do Sistema de Gestão da Manutenção como ferramenta útil à verificação da operacionalidade dos equipamentos envolvidos na segurança (ventiladores de controlo de fumos, centrais de detecção, etc.), mas sem interferir na gestão e exploração dos sistemas afectos à segurança [13].

## 2.10 Síntese

O saber projectar a gestão da manutenção tem início na fase do projecto e é deontologicamente uma obrigação da responsabilidade global dos Projectistas. A falta de um bom sistema de informação origina casos de insucesso de projectos de ordem não técnica. Pelo que, a primeira acção a efectuar é a análise organizacional da comunicação entre os diferentes autores. Estes deverão ser experientes e sensíveis aos problemas energéticos actuais e futuros. Para além do cumprimento de Normas e regulamentos deve-se ter vontade em querer fazer melhor, nas acções a desenvolver na fase do projecto, nas acções a implementar na fase de execução da obra, na sua fiscalização e entrega do Processo de Obra à equipa de manutenção para o planeamento inicial da mesma.



## Capítulo 3

### A Energia

#### 3.1 Generalidades

A produção, a transformação, o tratamento e a utilização das diferentes formas de energia, mais utilizadas, e estas com o mínimo de perdas possíveis, constituem actualmente uma necessidade vital devido não só à escassez de combustível, de origem fóssil, resultante de um grande consumo, mas igualmente à subida global e constante do seu preço [15].

Associado a este facto tem-se, ainda, o aquecimento global do planeta, que constitui uma das grandes preocupações da humanidade, pelas consequências nefastas em domínios tais como, o aumento da temperatura média à superfície da terra, a subida do nível dos oceanos, a ocorrência de fenómenos climatéricos de grande turbulência e cada vez com maior frequência. As alterações climáticas, provocadas sobretudo pelas emissões dos gases com efeito de estufa (CFC's) decorrente das actividades humanas, originaram já o esboço concertado de estratégias para a sua redução, envolvendo a generalidade dos países do globo. O Protocolo de Quioto, aprovado no âmbito das Nações Unidas em 1997 e em vigor a partir de 2005.Fev.16, visa a reposição das emissões dos gases com efeito de estufa, no período 2008-2012, nos níveis de emissão registados em 1990 [16].

Contudo, a emissão dos gases com efeito de estufa resulta das actividades essenciais no quadro económico e social moderno, com destaque para a utilização dos recursos energéticos de origem fóssil [16].

A utilização de recursos energéticos de origem fóssil é responsável, à escala mundial, por cerca de três quartos das emissões de CO<sub>2</sub> com origem nas actividades humanas, por um quinto do metano emitido e por uma quantidade significativa de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O, resultante essencialmente das actividades agrícolas). Por outro lado, resultam ainda óxidos azotados (NO<sub>x</sub>), compostos de carbono (HCs) e monóxido de carbono (CO) que, apesar de não serem gases com efeito de estufa, influenciam reacções químicas na atmosfera que provocam a criação ou a destruição de outros gases com efeito de estufa como é o caso do ozono da troposfera [16].

Portugal tem responsabilidade no âmbito dos compromissos internacionais para a redução dos gases com efeito de estufa. Os países da União Europeia, no âmbito dos compromissos do Protocolo de Quioto, acordaram numa repartição a nível de país por forma a atingirem, em 2008-2012, uma redução de 8% das emissões em relação a 1990, tendo em conta o nível do desenvolvimento das diferentes economias. Neste âmbito, enquanto alguns países devem reduzir as suas emissões, naquele período, Portugal poderá aumentá-las em 27% [16]. Porém, acontece que este valor já foi ultrapassado, encontra-se em 37%, o que irá obrigar o País a um esforço adicional nos próximos anos, senão quiser vir a sofrer as consequências das pesadas multas previstas no âmbito desse Acordo.

O petróleo, o gás natural e o carvão estão na origem da maior parte da energia utilizada para produzir electricidade, para satisfazer as necessidades de calor (vapor e forno) na indústria, para os transportes, para aquecimento das habitações e edifícios de serviços [16].

É de sublinhar o forte crescimento das emissões no sector residencial e terciário com uma taxa de crescimento de 30,7% no período compreendido entre 1990 e 1999 [16].

O sector energético está, assim, no centro da problemática das alterações climáticas, pelo seu impacto no que se refere à emissão dos gases com efeito de estufa. A redução das emissões deste tipo de gases surge como uma das grandes linhas de orientação da política energética, a par da redução da dependência externa, da valorização dos recursos energéticos endógenos e da redução dos custos da energia como factor de competitividade da economia [16].

### 3.2 As Fontes de Energia

As fontes de energia, tal como se encontram disponíveis na Natureza, podem ser renováveis ou não, de acordo com o esquema da figura 3.1 [17].

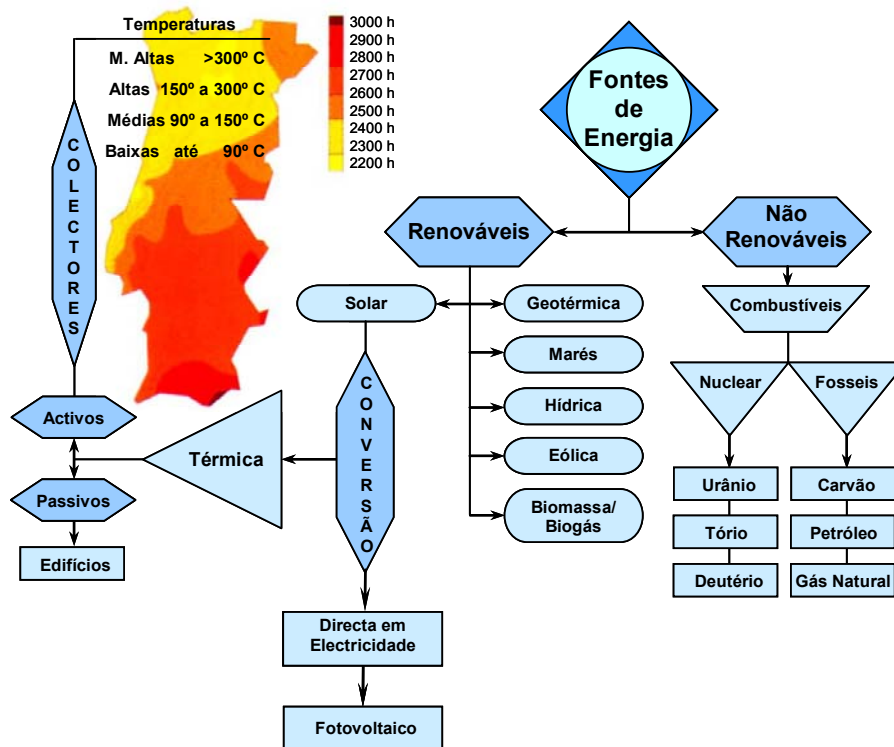


Fig. 3.1 – Fontes de Energia.

A maior parte da energia consumida, no mundo e em Portugal, é proveniente da combustão dos combustíveis fósseis, sendo mais importante o Carvão, o Petróleo e o Gás Natural.

Em Portugal a produção de electricidade reparte-se por duas grandes áreas ou grupos de tecnologias: a via hídrica e via térmica [16].

A produção por via térmica é a mais relevante, tendo assumido o valor máximo de 77% da energia eléctrica em 1992 (ano particularmente seco), utilizando quatro combustíveis nas grandes centrais, a saber [16]:

- Carregado (petróleo e gás natural)
- Sines (carvão)

- Pego (carvão)
- Tapada do Outeiro (gás natural)

Os produtos derivados da refinação do petróleo são as formas de energia mais consumidas em Portugal, seja em energia primária ou energia final.

Porém, é expectável que o peso dos produtos de petróleo no abastecimento energético do país diminua progressivamente, por via da sua substituição por gás natural, quer na produção de electricidade, quer nos consumos industriais e domésticos [16].

Em 2000 o gás natural já representou perto de 9% do consumo de energia primária e as estimativas apontam para aproximadamente 23% em 2010.

### 3.2.1 Definições de Energia

A energia é a faculdade que um sistema tem de produzir trabalho ou trocar calor, utilizando uma fonte renovável ou não renovável. A *Energia Primária* é aquela que sofre uma transformação para originar a *Energia Final*, sendo esta disponibilizada em várias formas, às actividades económicas e famílias, como electricidade, combustíveis (gasolinas, gasóleo, etc.), gás, etc.

A *Energia Útil* é a que efectivamente o utilizador obtém da transformação da energia final, sob a forma de, por exemplo, calor, energia motriz, iluminação, etc. Com efeito, a energia primária é sempre maior que a energia final que lhe corresponde. Por exemplo, se uma central eléctrica tiver um rendimento de 40%, isso significa que por cada 100 unidades de energia primária entrada na central (p.e. carvão), apenas se obtém 40 unidades de energia final (energia eléctrica) [16]. Este mesmo raciocínio é também aplicável às transformações que sofre a energia final no utilizador, para que este disponha da energia de que carece (energia útil) sob a forma, por exemplo, de calor, energia motriz, iluminação. Pelo que, as transformações têm sempre um rendimento inferior à unidade, figura 3.2 [16].

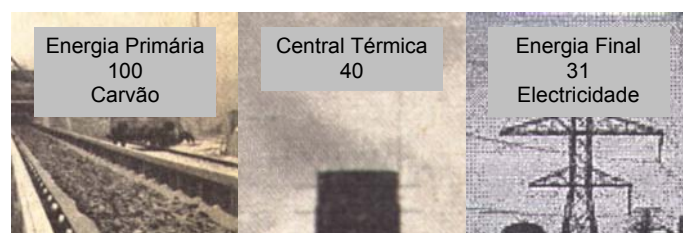


Fig. 3.2 – Transformação da energia primária em energia final.

### 3.2.2 Procura da Energia em Portugal

Nas últimas duas décadas e, em particular, após a entrada de Portugal na União Europeia, a procura de energia nacional tem tido uma dinâmica fortemente crescente. Portugal foi, aliás, o país da União Europeia com taxas de crescimento da procura de energia final mais significativas naquele período [16].

Na década de noventa, a procura da energia final em Portugal cresceu a uma taxa sustentada de cerca de 4,5% ao ano, de que resultou um crescimento da procura da energia final de 50% entre 1990 e 1999. A título comparativo, para o conjunto dos 15 Estados-Membros da União Europeia a taxa média de crescimento da procura da energia final foi, entre 1990 e 1998, da ordem de 1% ao ano [16].

Uma análise desagregada por sector consumidor revela que todos os sectores de actividade tiveram forte crescimento da procura da energia entre 1990 e 1999. Destaca-se o sector dos serviços, que aumentou o seu consumo de energia final em mais 85,8 %, com um crescimento médio anual de 7,1 % [16].

Como este sector se caracteriza por uma elevada penetração da energia eléctrica no seu abastecimento energético, foi o principal responsável pelo grande crescimento do consumo dessa forma de energia final em Portugal. Como consequência, o peso do sector no consumo total da energia eléctrica passou de cerca de 19%, em 1980, para 31% em 1999 [16].

Esse acentuado crescimento do consumo da energia, em particular da energia eléctrica, resultou da conjugação de três factores [16]:

- O crescimento da própria actividade económica do sector;
- Níveis de exigências e critérios de qualidade crescentes no exercício das actividades;
- Marcadas ineficiências nos sistemas consumidores, quer dos equipamentos, quer dos edifícios.

Estudos recentes no sector dos serviços permitiram um melhor conhecimento das fontes de energia final e dos valores da procura, bem como à desagregação desta por utilizações finais. Por exemplo, no caso do sector hoteleiro, o estudo incidiu sobre uma amostra de 60 hotéis (4 e 5

estrelas) do Continente e Ilhas, verificando-se uma gama dos consumos específicos finais muito dispersa, entre os 50 e os 600 kWh.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (4 estrelas) e 290 kWh.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (5 estrelas) [16].

Verificou-se, ainda, que a energia eléctrica corresponde, em média, a cerca de 45% dos consumos, enquanto as utilizações finais a que correspondem os maiores consumos energéticos são o aquecimento e o arrefecimento ambiente (cerca de 30% a 35%), seguindo-se as águas quentes sanitárias (10% a 18%), cozinhas (16% a 18%), iluminação e lavandarias [16].

Numa outra tipologia de edifícios de serviços, hipermercados e outras grandes superfícies comerciais, verificaram-se consumos energéticos da mesma ordem de grandeza dos hotéis (entre os 240 e os 300 kWh.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>). Neste caso, estes consumos são sobretudo eléctricos (98% a 99%) e as utilizações finais mais importantes são, no caso dos centros comerciais, a climatização, com cerca de 70% e a iluminação, com 20%. No caso dos hipermercados o frio industrial é predominante, com cerca de 35%, enquanto o ar condicionado e a iluminação tem a mesma ordem de grandeza (30%) [16].

No que diz respeito aos consumos energéticos no sector doméstico, os consumos médios, correspondem às utilizações para iluminação e electrodomésticos (cerca de 25%), águas quentes sanitárias e cozinhas (50%) e aquecimento e outros (25%) [16].

Quanto aos edifícios, a sua qualidade e o conforto associado têm aumentado ao longo do tempo, particularmente nos últimos anos. Fontes energéticas directamente disponíveis, temperatura e humidade relativa, dentro de parâmetros de conforto e qualidade do ar, são comodidades que foram postas à disposição dos seus utilizadores, traduzindo-se num maior consumo. Neste contexto, as acções que contribuem para a racionalização do consumo final da energia no sector e contempladas no Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) aprovado pelo governo em Setembro de 2001, podem dividir-se em três grupos [16]:

- Grupo I – Acções que condicionam a dimensão e o tipo de sistema de climatização necessário (só ventilação, só aquecimento ou só arrefecimento e eventualmente controlo de humidade), devido ao efeito que têm na envolvente do edifício. Neste grupo, incluem-se a regulamentação sobre o comportamento térmico dos edifícios e outras acções que incidem na qualidade térmica do edifício, como etiquetagem de edifícios, campanhas de informação do público com vista à melhoria da qualidade da envolvente do edifício e campanhas com vista à aquisição de edifícios termicamente eficientes;

- Grupo II – Acções que influenciam directamente o desempenho do sistema de climatização. Neste grupo incluem-se a regulamentação sobre sistemas de climatização, a etiquetagem de equipamentos e sistemas, subsídios e incentivos fiscais na escolha dos sistemas mais eficientes;
- Grupo III – Acções que influenciam indirectamente o desempenho do sistema de climatização. Neste grupo incluem-se a política dos preços da energia, campanhas de informação do público para manutenção de correctas condições interiores e para uso e escolha do sistema de climatização.

A nível da União Europeia, os edifícios são os maiores consumidores de energia (cerca de 40% da energia final), mesmo quando comparados com os sectores dos transportes e da indústria. Por outro lado, apesar dos progressos feitos em termos da qualidade da edificação e da eficiência na utilização da energia (por exemplo, as perdas térmicas, em edifícios novos na EU, são cerca de metade do que se verificava em edifícios anteriores a 1945), os estudos demonstram que subsiste uma ampla margem de melhoria, em matéria de racionalização dos consumos de energia em edifícios, a nível europeu [16].

Tendo como objectivo explorar esse grande recurso e, consequentemente, reduzir as emissões dos gases percussores do efeito de estufa associadas ao sector, a Comissão Europeia apresentou uma proposta de directiva especificamente destinada à melhoria da eficiência energética em edifícios, cobrindo áreas de intervenção prioritárias [16]:

- Estabelecimento de uma metodologia comum, a nível europeu, para o cálculo do desempenho energético de edifícios;
- Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência, para edifícios que sejam sujeitos a renovações;
- Estabelecimento de sistemas de certificação de edifícios e de informação ao público, com base nos padrões estabelecidos e das condições de conforto no interior de edifícios de utilização pública;
- Sistemas de inspecção obrigatória de caldeiras e outros equipamentos de aquecimento e arrefecimento de edifícios.

Neste contexto, a directiva nº 2002/91/CE da Comunidade Europeia foi finalmente transposta para o nosso país. A obrigatoriedade, para 4 de Janeiro de 2006, da implementação de um sistema de certificação energética nos edifícios novos, nas grandes intervenções de reabilitação e nos edifícios públicos ao nível de todos os países da União Europeia, ditou a urgência na aprovação de três diplomas, em 05.Jan.27, essenciais para que esta meta fosse cumprida no nosso país. Este pacote legislativo, que aguarda a promulgação por parte do Presidente da República, irá estabelecer uma matriz de qualificação do desempenho energético dos edifícios e respectiva certificação [18].

Contudo, os consumos dedicados neste sector ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), sendo crescentes nos últimos anos, necessitam de uma especial atenção no futuro próximo por parte de todos os agentes envolvidos [19]. Pelo que, é pertinente pensar nas energias renováveis como fonte de energia dos fluidos térmicos das instalações de AVAC e de água quente sanitária, com destaque para o Solar Térmico Activo.

### **3.3 Síntese**

A procura da energia final em Portugal teve um forte crescimento entre 1990 e 1999, com destaque para o sector dos serviços que aumentou em mais de 85,8 %.

Neste, os maiores consumos energéticos são devidos ao aquecimento e arrefecimento ambiente com cerca de 30% a 35%, enquanto que a climatização dos centros comerciais contribui com cerca de 70%.

Verifica-se que há marcadas ineficiências nos sistemas consumidores, quer dos equipamentos, quer dos edifícios.

Para o efeito, foram tomadas acções que contribuem para a racionalização do consumo final da energia no sector e contempladas no Programa E4 (Eficiência Energética Endógenas) aprovado pelo governo em Setembro de 2001.

Porém, a nível da União Europeia, verifica-se que os edifícios são os maiores consumidores de energia (cerca de 40% da energia final), apesar dos progressos feitos em termos da qualidade da edificação e da eficiência na utilização da energia. Mas, existem estudos que demonstram subsistir uma ampla margem de melhoria, em matéria de racionalização dos consumos de energia em edifícios e consequentemente na redução das emissões dos gases percursores do efeito de



estufa associados ao sector. Pelo que, a Comunidade Europeia estabeleceu a directiva nº 2002/91/CE destinada à melhoria de eficiência energética em edifícios.

Neste contexto, é imperativo pensar-se, a nível Nacional, nas energias renováveis para a produção da energia térmica necessária nas instalações de AVAC.

## Capítulo 4

### Produção de Energia Térmica para AVAC

#### 4.1 Generalidades

Portugal dispõe de uma recurso energético de grande abundância, a ENERGIA SOLAR, entre os maiores a nível Europeu. Com a aplicação de colectores solares (painéis) é possível o aquecimento de água.

É neste contexto que os sistemas de produção de água quente sanitária (AQS), através de colectores solares, são conhecidos, mas insuficientemente implementados, sendo incontornável que ainda hoje esta tecnologia goza de má reputação junto dos utilizadores, resultante de um grande número de instalações mal concebidas e/ou mal instaladas e/ou sem manutenção adequada [19]. Porém, não sucede o mesmo quando se inclui o aquecimento ou arrefecimento do ar interior ambiente, havendo necessidade imperiosa de implementar a produção de energia térmica nas instalações de AVAC com recurso à energia solar activa.

#### 4.2 Instalações de AVAC com Solar Térmico Activo

A bomba de calor é um equipamento muito utilizado nas instalações de AVAC, para produção de energia térmica, água refrigerada ( $5^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  C) ou quente ( $55^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  C), para arrefecimento ou aquecimento do ar interior.

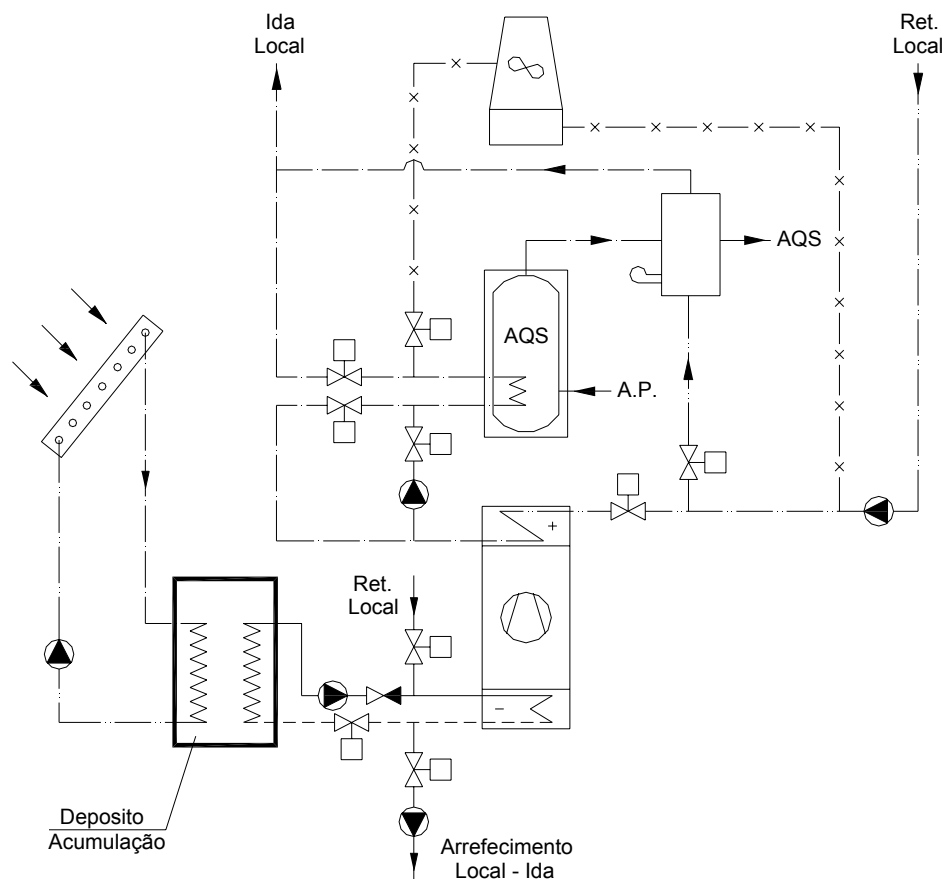


Fig. 4.1 – Esquema simplificado de uma instalação de AVAC com bomba de calor e solar térmico activo.

Associando colectores solares com a bomba de calor é possível elevar bastante o rendimento de um aquecimento solar devido ao facto de se poder utilizar uma temperatura da água armazenada até 5°C, podendo os custos de exploração ser notavelmente reduzidos com a diminuição das necessidades de aquecimento do edifício.

Na figura 4.1 apresenta-se um esquema simplificado de uma instalação de AVAC com uma bomba de calor e solar térmico activo.

Aplicando-se uma bomba de calor água/água esta pode produzir água quente até à temperatura máxima de 55°C. Mas, para que seja possível esta situação é necessário que haja uma fonte de arrefecimento, depósito de água quente solar. Nos meses de Inverno, a máquina funciona sempre até que a temperatura no interior do depósito atinja o limite de 5° C, com produção simultânea de água para aquecimento dos locais e de AQS.

Atingida a temperatura limite de 5° C no depósito de acumulação, não é possível a bomba de calor funcionar, pelo que, arrancará a caldeira.

Na situação de verão produzir-se-á água refrigerada, para arrefecimento dos locais, e gratuitamente obter-se-á AQS antes que se processe na torre o arrefecimento da água de condensação da bomba de calor.

Um conjunto de válvulas motorizadas permitirá a circulação forçada da água nos diferentes circuitos.

Uma outra hipótese, de aplicação de colectores solares aos sistemas de AVAC, consiste em aplicar máquinas frigoríficas de absorção, figura 4.2, em vez das bombas de calor que são máquinas frigoríficas de compressão.

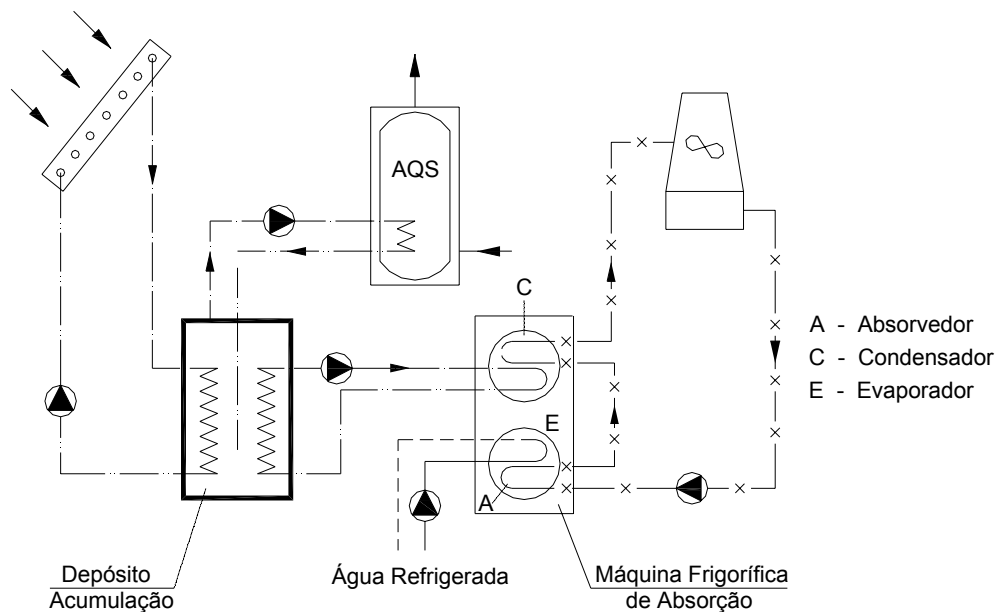


Fig. 4.2 – Esquema simplificado de uma instalação de AVAC com máquina de absorção e solar térmico activo.

Para melhor compreender o esquema, é pertinente abordar sinteticamente o funcionamento da máquina frigorífica de absorção.

### 4.3 Máquinas Frigoríficas de Absorção

As máquinas frigoríficas de compressão são as mais aplicadas na produção da água refrigerada ou quente, que os sistemas de AVAC utilizam como fluido térmico, e muito raramente são aplicadas máquinas frigoríficas de absorção.

### 4.3.1 Princípio de Funcionamento da Máquina de Absorção

Para uma abordagem deste tema, é útil comparar uma máquina frigorífica de absorção com uma máquina frigorífica de compressão.

Para o efeito, ao observar a figura 4.3 [20], constata-se que as duas máquinas possuem um conjunto de componentes comuns: o condensador, a válvula de expansão e o evaporador [20].

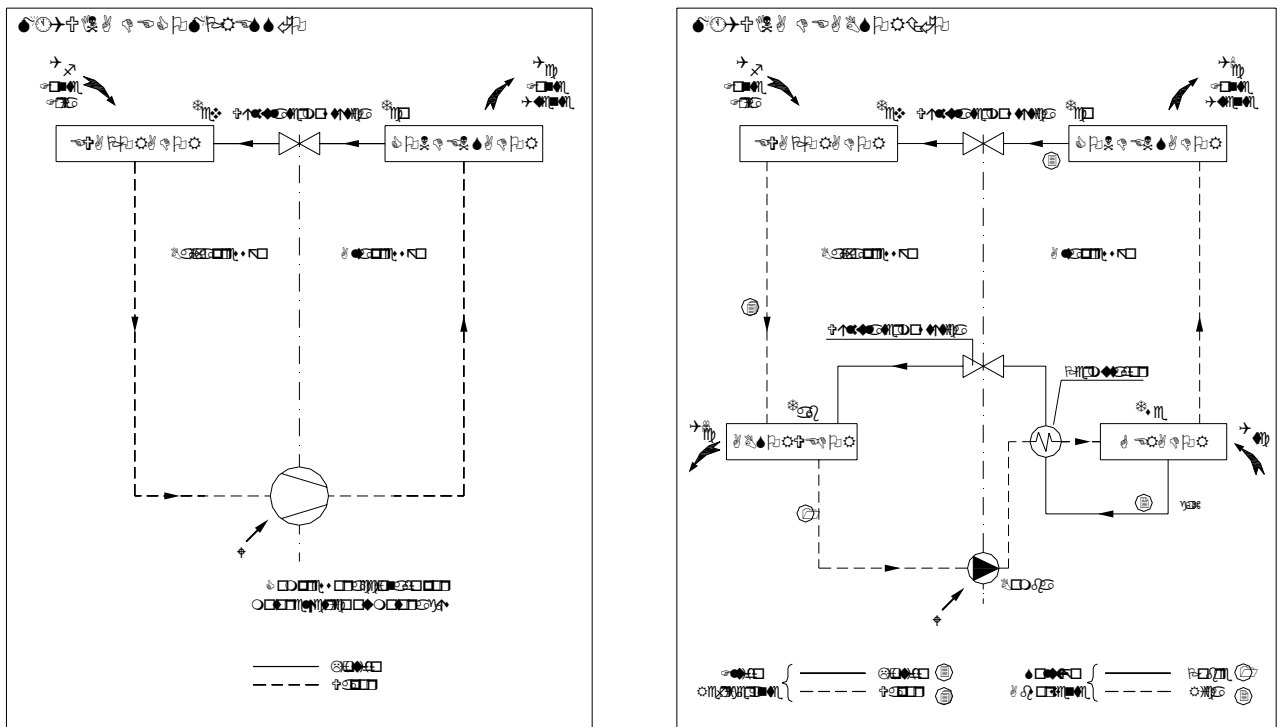


Fig. 4.3 - Comparação entre uma máquina frigorífica de compressão mecânica de um vapor e uma máquina frigorífica a compressão térmica, quer dizer de absorção.

O compressor mecânico da máquina frigorífica de compressão de um vapor (fluido refrigerante) é substituído por um - “compressor termoquímico” [21] – conjunto de componentes: o gerador, o redutor de pressão, o absorvedor e a electrobomba de circulação.

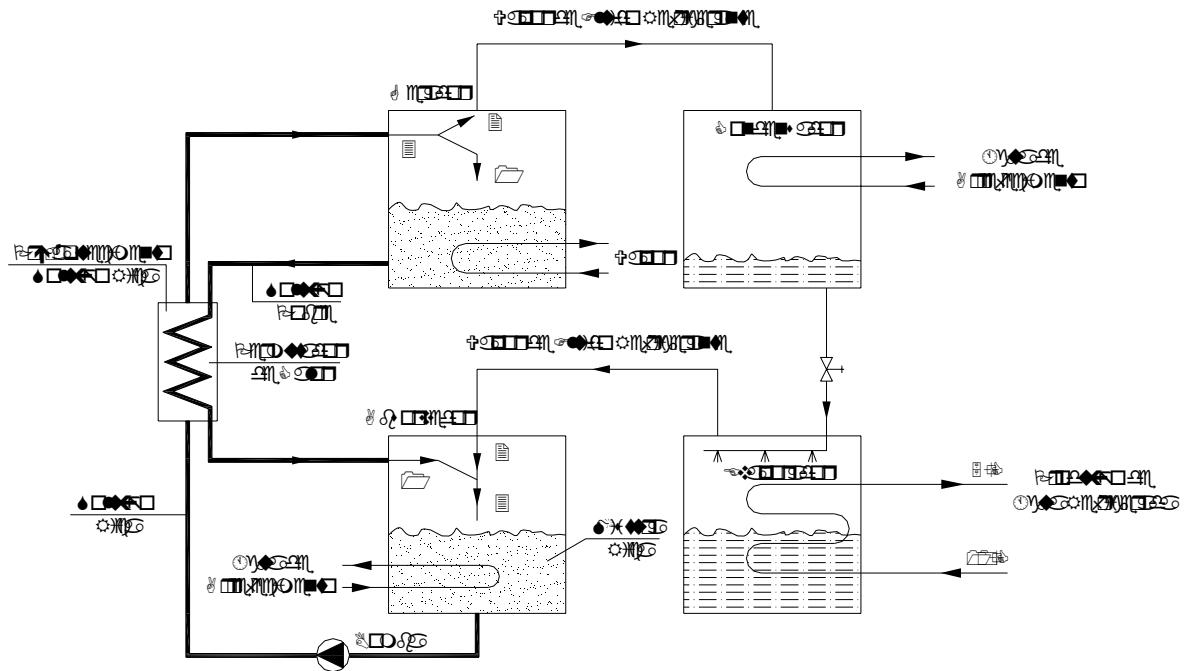


Fig. 4.4 – Esquema de princípio de funcionamento de uma máquina frigorífica de absorção.

Para a descrição do princípio de funcionamento de uma máquina de absorção, observe-se a figura 4.4 a partir do evaporador, a saber [20]:

- Neste dá-se a evaporação do fluido refrigerante, absorvendo calor dos tubos da água a refrigerar, que chega, por exemplo, a 10°C e sai 5°C;
- Os vapores do fluido refrigerante 2, provenientes do evaporador, chegam ao absorvedor, onde também chega uma solução pobre em fluido refrigerante 1, proveniente do gerador, e que absorvem os vapores do fluido refrigerante 2, originando uma mistura rica em fluido refrigerante 3;

A solução 1 é titulada de pobre, porque contém uma pequena percentagem de fluido refrigerante misturada com um solvente ou absorvente. O calor libertado no processo de absorção é condensado, ao atravessar uma serpentina onde circula água de arrefecimento;

- Por meio de uma pequena electrobomba, a solução rica, no estado líquido, é introduzida no gerador, depois de ter passado por um permutador de calor que permite o pré-aquecimento da solução rica (fria) pela solução pobre (quente) e arrefecendo esta última;
- A mistura binária 3 (solvente mais fluido refrigerante), rica em fluido refrigerante, chega no estado líquido ao gerador, recebe uma certa quantidade de calor que permite separar o

fluido refrigerante do solvente. Em seguida, os vapores do fluido refrigerante dirigem-se para o condensador e o solvente para o absorvedor, depois de ter passado pelo permutador de calor;

- O fluido refrigerante, vaporizado no gerador, entra no condensador e passa ao estado líquido, ao atravessar uma serpentina onde circula a mesma água de arrefecimento que passou no absorvedor;
- O ciclo reinicia-se, no evaporador, com a entrada do fluido refrigerante proveniente do condensador, depois de ter passado por uma válvula termostática.

Portanto, pode-se considerar que há dois circuitos:

- O do fluido refrigerante puro e não puro. O primeiro com início na saída do gerador e fim no absorvedor, passando pelo condensador, válvula termostática e o evaporador. O segundo, solução rica em fluido refrigerante, com início na saída do absorvedor e fim na entrada do gerador;
- O do solvente rico, em fluido refrigerante, entre o absorvedor e o gerador, e o do solvente pobre, entre a saída do gerador e a entrada do absorvedor, passando pelo permutador de calor.

As misturas de solvente e do fluido refrigerante, denominadas de misturas bivalentes, mais utilizadas são as de:

- Água e brometo de lítio. A água é o fluido refrigerante e o brometo de lítio o solvente,
- Amoníaco e água. O amoníaco é o fluido refrigerante e a água o solvente.

As máquinas frigoríficas a absorção, correntemente designadas por “Chiller’s de absorção”, subdividem-se em dois tipos [21]:

- Chiller de absorção de queima directa. Nestes, o calor necessário ao processo é obtido queimando directamente um combustível, tipicamente gás natural;
- Chiller de absorção de queima indirecta. Nestes, o calor necessário é fornecido na forma de vapor a baixa pressão, água quente ou de um processo de purga quente.

As **Vantagens**, destes equipamentos, são [21]:

- Vida útil longa, geralmente superior a vinte anos;
- Manutenção, muito pouca;
- Não possuem nenhuma substância nociva para a camada do ozono;
- Baixo consumo eléctrico. Tipicamente cerca de 10% do consumo dos chiller's de compressão eléctricos;
- Funcionamento com ampla gama de fontes quentes: energia solar, água quente, processo de purga quente e vapor de baixa pressão.

Os **Inconvenientes**, destes equipamentos, são [21]:

- Reduzido rendimento energético – Coeficiente de Performance (COP). Os chiller's de absorção apresentam COP's de 1,1, enquanto que nos chiller's de compressão a vapor pode subir até 6.
- Investimento inicial muito superior, entre 1,5 a 2,5 vezes mais elevado.

#### **4.4 Máquinas de Absorção e Sistemas de Cogeração**

A máquina de absorção pode ser integrada em sistemas de cogeração com aproveitamento de calor, que de outra forma seria desperdiçado.

A cogeração é, por definição, a produção combinada de electricidade (ou energia mecânica) e energia térmica útil, destinadas ao consumo próprio ou de terceiros. Tradicionalmente, os consumidores satisfazem a sua procura de energia comprando separadamente a electricidade e os combustíveis às companhias distribuidoras. A cogeração representa uma alternativa, de elevada eficiência energética, que permite reduzir a factura energética dos utilizadores com necessidades simultâneas de calor (água quente ou vapor) e electricidade ou energia mecânica [19].

Para além da factura energética do utilizador, a cogeração apresenta a grande vantagem de reduzir o consumo de energia primária. A cogeração permite poupar cerca de 15% a 30% da energia primária necessária para produzir, separadamente, electricidade e calor [19].

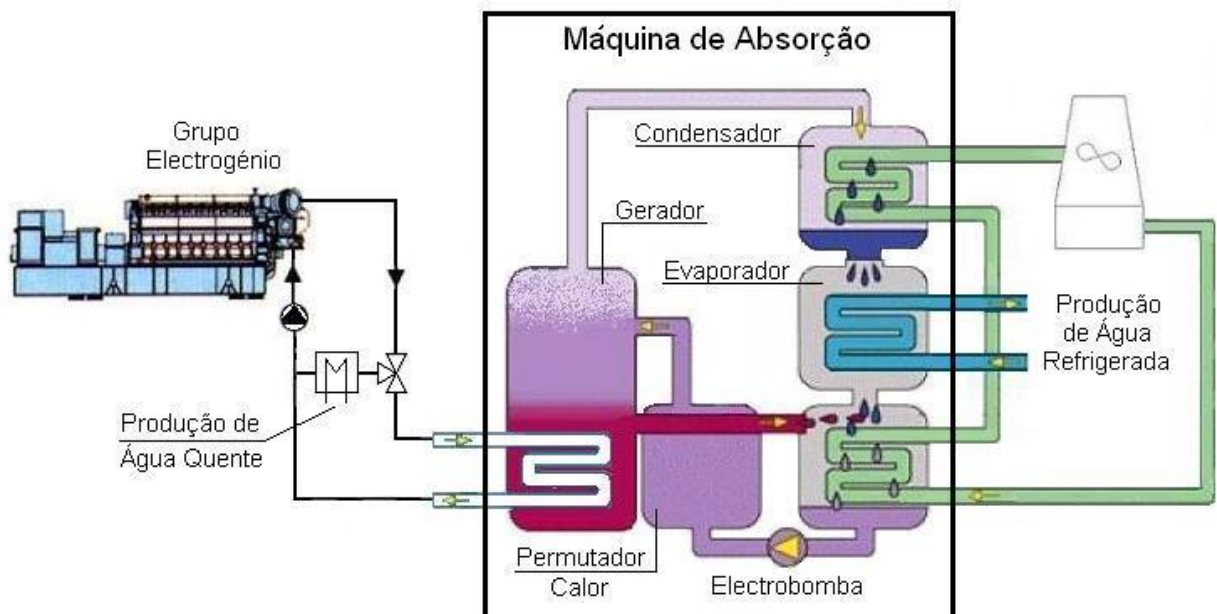


Outra vantagem da cogeração é a redução dos impactos ambientais causados pela transformação da energia. A utilização mais eficiente dos combustíveis fósseis permitida pela cogeração resulta da diminuição significativa das emissões de gases poluentes. Ao produzir electricidade e calor no local da sua utilização, a cogeração permite ainda reduzir os custos de transporte e distribuição da energia eléctrica [19].

As aplicações da cogeração abrangem a indústria (instalações de grande escala), os serviços (instalações de média e pequena escala em edifícios) e o sector residencial (instalações de pequena escala e redes de calor) [19].

É neste contexto que se apresenta atrativamente no futuro, o chiller de absorção, utilizando as diferentes fontes de calor, nas grandes cogerações ( $> 10$  MW), nas cogerações a gás ( $< 1000$  kW), nas mini e micro-cogerações a gás ( $< 500$  kW) e nas cogerações em contra-pressões, utilizando combustíveis não fósseis [19].

Na figura 4.5 apresenta-se um esquema simplificado de um sistema de cogeração. A água quente produzida no sistema de arrefecimento do grupo electrogénio, que produz energia eléctrica, é aproveitada para alimentar o gerador do chiller de absorção, que produz água refrigerada, ou para um permutador de calor, que produzirá água quente.



## 4.5 Síntese

Portugal, ao dispor em abundância de energia solar, possui uma riqueza natural inesgotável.

A aplicação de colectores solares deve ser promovida e particularmente incentivada pelos técnicos, de forma a eliminar a má reputação, da década de oitenta, resultante de um grande número de instalações mal concebidas e/ou mal instaladas e/ou sem manutenção adequada.

As instalações de AQS e AVAC com solar térmico activo, integrando máquinas de compressão e de absorção, devem ser incrementadas de forma a melhorar a eficiência energética e a qualidade ambiental do país. Igualmente importante, de fomentar, é a aplicação de sistemas de cogeração, na produção combinada de electricidade e energia térmica útil, destinadas ao consumo próprio ou de terceiros. Por este motivo, o presente capítulo apresenta esquemas simplificados de sistemas possíveis de aplicar, na produção de água refrigerada ou quente, necessária ao arrefecimento ou aquecimento do ar dos sistemas de climatização.

Desta forma, é perfeitamente possível poupar energia e viver em condições saudáveis e de conforto.

## Capítulo 5

### Sistemas de AVAC

#### 5.1 Generalidades

O termo corrente e generalizado das instalações de AVAC é proveniente de HVAC (Heat, Ventilation and Air Conditioning), que na década de 70 se utilizava em Portugal.

A origem desta designação, tal como de outras que frequentemente se utilizam, é fruto da evolução das técnicas da especialidade no tratamento e qualidade do ar interior. Com efeito, há uma história, que de forma sucinta é conveniente referir neste capítulo, para melhor compreender o processo evolutivo e o estado actual da arte.

É igualmente importante estabelecer um método de classificação dos sistemas e ter noção dos requisitos que constituem as instalações de AVAC, pelo menos das correntemente aplicadas, por forma a utilizá-las e/ou actuar na manutenção de melhoramento das mesmas.

#### 5.2 História do Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Desde sempre que o homem procurou melhorar as suas condições de vida. Com efeito, começou por se agasalhar do frio, de modo que, o aquecimento na antiguidade, comum a todos os povos, foi a sala de estar servir simultaneamente para a confecção dos alimentos, mas onde o principal inconveniente era a propagação dos fumos [15].

Mais tarde, os Romanos inventaram o carvão de lenha que queimavam em recipientes metálicos sem libertação de fumos. Foi o processo de aquecimento mais divulgado na Antiguidade.

O primeiro aquecimento central é o “hypocauste” dos Romanos, por exemplo, nas termas de Caracalla (211-217 depois J.C.) [15].

Nestas circunstâncias, a sala de estar foi construída sobre uma estrutura em alvenaria de pedra, constituindo uma caixa de ar entre o solo e aquela, onde se queimava o carvão de lenha e circulavam, por convenção natural, os fumos por um ou vários ductos verticais localizados nas paredes periféricas com aberturas na parte superior [15].

São estas as primeiras instalações de ventilação com aquecimento do ar exterior (novo).

No fim do século XIX são desenvolvidas as primeiras teorias científicas sobre a higiene e estudos experimentais nas empresas referentes ao movimento, humidade, pureza e teor de gás (medidas de gás carbónico), por Michel Lévy 1820-1910) [15].

O progresso da electromecânica permite a aplicação de ventiladores accionados electricamente, a corrente continua, destinados à ventilação e ao aquecimento de grandes volumes de ar. A sua purificação faz-se por meio de filtros em tecido ou película de carvão.

Em 1890 surgem os processos de humidificação do ar obtidos a partir do aquecimento a vapor de grandes recipientes de água e posteriormente por pulverização de água através de injectores [15].

É somente agora que começa o ar condicionado (sujeito a condições).

No início do século XX, nos EUA, surgem os primeiros aparelhos de Ar Condicionado com baterias de pré-aquecimento, reaquecimento e caixa de humidificação. W. H. Carrier (1876-1950) é considerado como o pai do ar condicionado. Depois, aparecem os primeiros sistemas de regulação pneumática e eléctrica de temperatura e humidade [15].

Em 1920 aplicam-se as primeiras instalações centralizadas de ar condicionado para melhorar o bem estar das pessoas (teatros, cinemas, edificios de escritórios) ou permitindo o trabalho de matérias hidroscopias (tabaco, têxtil, papel) [15].

É no início desta época que se apresentam as primeiras máquinas frigoríficas a amoníaco e destinadas ao arrefecimento e desumidificação do ar.

Os verdadeiros aparelhos de ar condicionado aparecem em 1930, constituídos por caixas contendo todos os elementos necessários ao tratamento integral do ar: máquinas frigoríficas, ventiladores, baterias de aquecimento, filtros, etc. [15].

Novos fluidos refrigerantes, não tóxicos, são empregues, os fréons, assim como as primeiras máquinas frigoríficas herméticas e outros aparelhos de ar condicionado, como condicionadores monobloco, armários, etc.

A partir de 1945, o ar condicionado faz rápidos progressos e novos sistemas se revelam [15].

Entretanto na década de 70, quando o ar condicionado começa verdadeiramente a implantar-se e a generalizar-se em Portugal, regista-se nos EUA, em Julho de 1976, num hotel em Filadélfia [22], a descoberta da “legionelose”, mais conhecida como Doença do Legionário, com origem nos sistemas de ar condicionado, e que afectou os participantes da convenção anual da divisão de Pennsylvania da Legião Americana. Razão pela qual se designa por doença do Legionário.

Em 1978 realiza-se a Primeira Conferência Internacional sobre o Ar Interior e em 1985 o primeiro congresso mundial do Ar Condicionado em Copenhaga. Foi no início desta década que se lançou o primeiro jornal científico sobre a Qualidade do Ar Interior (QAI) o “Indoor Air” [23].

É ao Professor Ole Fanger, criador do “Centro para Qualidade do Ar Interior”, que se atribuem as preocupações e a implantação de normas como princípios de excelência compatíveis com a excelência energética e a sustentabilidade [23].

Fanger aponta cinco princípios que devem estar na origem da filosofia de excelência [23]:

- 1º - Uma melhor qualidade do ar interior aumenta a produtividade e diminui a síndrome do edifício doente;
- 2º - Fontes de poluição interior desnecessárias devem ser evitadas (controlo na fonte);
- 3º - O ar deve ser “servido” fresco e seco;
- 4º - Devem ser distribuídas suavemente pequenas quantidades de ar (tão pequenas quanto sejam possível);
- 5º - Deve ser permitido o controlo individual do ambiente térmico.

É por estas razões que tem de ser dada mais atenção à selecção dos materiais dos componentes e processos, e em particular à manutenção dos sistemas de ar condicionado.

### 5.3 Caracterização de Instalação e Sistema de AVAC

As instalações de AVAC, também, correntemente designadas de Ar Condicionado ou de Climatização, dizem respeito à literatura técnica da área proveniente do “Air-Conditioning” ou “Conditionnement d’Air” e “Climatisation”, têm por objectivo designar o processo de tratamento do ar em função do número de transformações termodinâmicas, quadro 5.1 [15].

Quadro 5.1 – Classificação geral dos sistemas das instalações de tratamento do ar.

Função Termodinâmica do Equipamento de Tratamento do Ar		Designação da Instalação	
Número	Tipo		
Nenhuma ou uma só	N	Ventilação	1 - N - Nenhuma (sem nenhuma função termodinâmica) A - Aquecimento R - Refrigescer (Arrefecimento) H - Humidificação D - Desumidificação
	A		
	R		
	H		
	D		
Duas	A / R	Climatização ou condicionamento do Ar parcial	2 - Quando se encontra prevista filtragem, adiciona-se um F (filtro).
	A / H		
	A / D		
	R / H		
	R / D		
Três	H / D	Climatização ou condicionamento do Ar parcial	
	A / R / H		
	A / R / D		
	R / H / D		
Quatro	R / H / D	Climatização ou condicionamento do Ar parcial	
	A / R / H / D	Climatização ou condicionamento total do Ar	

Há autores que consideram as instalações de climatização como sendo as destinadas a assegurar as condições ambiente compatíveis com a fisiologia do organismo humano, funcionando com uma certa percentagem de ar novo (exterior), podendo mesmo ser de 100%, como no caso das salas de cirurgia, dos blocos operatórios dos hospitais. Enquanto que, as instalações de condicionamento do ar entendem-se como particularmente destinadas à indústria, onde por vezes não se faz nenhuma introdução de ar exterior.

Com certeza que esta diferenciação não é actual e não tem em consideração a integral QAI, uma vez que na indústria existem pessoas. Tratando-se de espaços completamente robotizados ou de centros de informática, cujas condições particulares de temperatura e humidade relativa são alta-

mente exigentes, mas, mesmo assim, há necessidade de se introduzir ar exterior por forma a manter estes ambientes pressurizados, devido a frinchas ou aberturas de portas, por forma a evitar alterações das condições pretendidas, mesmo que momentâneas.

Para a clarificação da situação estabelece-se, no presente trabalho, que uma instalação de AVAC, ou de Ar Condicionado, ou ainda de Climatização, diz respeito a um sistema, ou conjunto de sistemas, de tratamento do ar (incluindo ou não ar exterior), englobando os equipamentos de produção dos fluidos térmicos para o aquecimento e/ou arrefecimento do ar e todos os materiais e acessórios indispensáveis ao correcto funcionamento da mesma.

O sistema diz respeito ao processo de tratamento do ar, podendo ser parcial ou total, consoante o número de transformações termodinâmicas a que este é submetido para se atingirem os objectivos pretendidos, independentemente de possuir ou não filtragem.

## **5.4 Sistemas de Ventilação**

Os sistemas de ventilação, tanto domésticas como industriais, podem ser do tipo natural ou mecânico.

### **5.4.1 Ventilação Natural**

Na ventilação natural, o sistema de circulação do ar resulta da diferença de pressão do vento e/ou da diferença de temperatura entre o exterior e o interior (correntes de convecção). Na maior parte das vezes há dificuldade em controlar a renovação do ar.

Existem várias possibilidades [15]:

- Ventilação por simples abertura de janelas ou portas, ou através de dispositivo existente na sua parte superior;
- Ventilação pelo efeito de chaminé, por meio de um ducto ou conduta vertical;
- Ventilação por meio de uma entrada estática e de chaminé, promovida pela força ascensional do ar mais quente e sob a influência do vento na parte superior.

### **5.4.2 Ventilação Mecânica**

Na ventilação mecânica, o funcionamento do sistema resulta da acção forçada de aspiração de um ventilador, ficando o local em depressão, com compensação de entrada de ar exterior através de frinchas ou por dispositivo previsto para o efeito. Conjuntamente, pode existir um ventilador de insuflação por forma a compensar a extracção. Mas, pode promover-se a ventilação mecânica introduzindo ar novo, assegurando-se uma sobrepressão do local e o tratamento elementar do mesmo, por exemplo, aquecimento, arrefecimento, humidificação ou desumidificação [15].

É corrente designarem-se por sistemas de termoventilação, aqueles em que uma ventilação mecânica insufla ar quente num local para garantir uma temperatura mínima ambiente. Por exemplo, balneários.

Caso a instalação realize mais do que um dos tratamentos do ar, para além dos indicados, consideram-se pertencentes à climatização.

Não se considera a filtragem do ar como tratamento propriamente dito do mesmo.

## **5.5 Sistemas de AVAC**

### **5.5.1 Definições**

Os sistemas das instalações de climatização asseguram pelo menos duas das funções seguintes: Aquecimento; Arrefecimento; Humidificação e Desumidificação, tendo por principais objectivos:

- O controlo da temperatura interior do ar ambiente, equilibrando as cargas internas sensíveis, retirando ou introduzindo energia térmica ao local, por motivo de acumulação ou perdas de calor;
- O controlo da humidade do ar ambiente, equilibrando as cargas latentes, seja por humidificação ou por desumidificação;
- Eliminar do ambiente a tratar as diversas impurezas, tais como odores, produtos nocivos, etc.;



- Renovar o ar ambiente, introduzindo ar novo, por forma a limitar principalmente os níveis de dióxido de carbono.

As instalações de AVAC integral mantêm as condições de temperatura e humidade relativa do ar dentro de valores constantes, com mais ou menos precisão, consoante os requisitos do ambiente e realizando as quatro funções termodinâmicas já referidas. Contudo, existem instalações de climatização parcial, cujo objectivo é o de garantir apenas duas ou três das quatro funções possíveis de tratamento do ar.

Em ambos os casos, para que os equipamentos de AVAC garantam um eficiente controlo dos parâmetros das condições específicas do ar ambiente, é necessário dotá-los de um sistema automático de regulação.

Para garantir uma eficiente qualidade do ar interior, a instalação de climatização deve assegurar simultaneamente a ventilação do espaço (renovar o ar) e, do ponto de vista da economia da energia, ser dotada de um sistema de recuperação de calor.

### **5.5.2 Domínios de Utilização**

As instalações de climatização aplicam-se essencialmente aos edifícios ou locais ocupados por pessoas, como por exemplo, escritórios, teatros, auditórios, hospitais, centros comerciais, etc.

Normalmente, as pessoas desejam uma condição ambiente de temperatura compreendida entre 19°C e 26°C, para uma humidade relativa de 40% a 60%. É com estes parâmetros, regra geral, que o ser humano se sente fisiologicamente melhor, mais criativo e produtivo, com espírito de humor. Contudo, a noção de conforto termo-higrométrico não é de fácil definição, pelo que, consideram-se satisfatórias quando um indivíduo não experimenta qualquer desagrado ou irritação de modo a distraí-lo das suas actividades de momento [24].

A Norma ISO-X35.203 de 1981 [24] apresenta em anexo uma recomendação de exigências de conforto (que não faz parte da Norma) baseada nos índices PMV (Predict Mean Vote) (Fanger) e PPD (Percentage of Dissatisfied), recomendando, para espaços onde se verifique ocupação humana, que o valor da percentagem previsível de pessoas insatisfeitas seja inferior a 10% [24].

Relativamente às instalações industriais, o principal objectivo é manter o estado do ar nas condições mais favoráveis e necessárias a cada método de fabricação, dado que existem muitas

matérias a não poderem ser trabalhadas sem haver critérios bem definidos de ambiente. É o caso, por exemplo, da indústria têxtil, que consoante o material a trabalhar a taxa de humidade relativa do ar, normalmente, situa-se entre 70% a 80%, com a finalidade de evitar a ruptura dos fios, tornando-os mais resistentes e elásticos. Contudo, existem fibras que exigem 90% a 95% de H.R. [15].

A indústria do papel, também existente no nosso país, é menos exigente na humidade relativa do ar, pode situar-se entre 50% a 60%.

Pode-se ainda citar, as salas de controlo de processos industriais, os laboratórios, as salas de informática, as fábricas de peças de precisão, etc. Em alguns casos, por exemplo, a fabricação de semicondutores requer uma purificação do ar de aproximadamente 100% [15].

Um outro domínio da fabricação, muito importante, é o da indústria farmacêutica para a produção de medicamentos, também, com uma purificação do ar de aproximadamente 100%.

Nos hospitais e em particular as salas de cirurgia, são ambientes que exigem um conjunto de requisitos igualmente importantes, como a purificação do ar e o controlo dos parâmetros no seu tratamento.

### 5.5.3 Morfologia dos Equipamentos das Instalações de AVAC

Para uma plena compreensão dos sistemas de climatização e sua classificação, qualquer que seja a sua aplicação ou importância, é necessário definir qual a posição dos diferentes equipamentos e fluidos utilizados, a saber [15]:

- **Equipamentos Centralizados**, têm por finalidade preparar os fluidos primários que serão distribuídos aos equipamentos terminais da instalação.

Estes podem encontrar-se situados:

- No local a climatizar, sendo visíveis, nas situações de climatização individual (condicionadores individuais);
- Próximo dos locais a climatizar (armários de climatização, condicionadores de tecto, etc.);

- Em central técnica, isto é, numa sala própria.

Os fluidos primários preparados nestes equipamentos centralizados são essencialmente:

- O ar quente e/ou refrigerado;
  - A água quente e/ou refrigerada;
  - O ar e a água simultaneamente;
  - O fluido refrigerante.
- **Equipamentos Terminais**, encontram-se situados no local a climatizar ou próximo. Estes recebem os fluidos primários e utilizam-nos para tratar o ar a insuflar directamente no local. Os aparelhos podem ser unidades ou unicamente uma simples boca de insuflação (difusor).
  - **Equipamentos Intermédios e Acessórios**, instalam-se entre os equipamentos centralizados e os equipamentos terminais dos locais a climatizar, os fluidos primários são distribuídos por condutas ou tubagens possuindo um certo número de acessórios de funcionamento (registos, válvulas, filtros, etc.).
  - **Equipamentos de Regulação**, compreendem os equipamentos de medida, de controlo, de regulação e de segurança (sondas, termóstatos, reguladores, etc.).

#### 5.5.4 Classes de Sistemas das Instalações de AVAC

As técnicas modernas de climatização classificam-se através de processos muito diferentes.

Para ordenar de forma simples e sucinta o conjunto de processos de climatização (sistemas de climatização), actualmente utilizados, atribuem-se classes aos sistemas das instalações, quanto à natureza do fluido primário, tratado e distribuído nos aparelhos terminais.

Os fluidos primários essencialmente utilizados são o Ar, a Água e o Refrigerante.

Admitam-se, por conseguinte, as classes de sistemas:

- Tudo Ar, unicamente ar;
- Mistos, tem-se ar e água;

- Tudo Água, unicamente água;
- Expansão Directa, tem-se um gás refrigerante.

## 5.6 Requisitos dos Sistemas de AVAC

### 5.6.1 Sistemas a Ar Total – Conduta Simples - Uni zona

Fazem parte da categoria destes sistemas aqueles em que o ar é tratado numa unidade central e por acção forçada do ventilador é distribuído por meio de condutas a um ou vários locais, numa zona, com insuflação no ambiente a climatizar a caudal constante e a temperatura de insuflação variável [15].

Aplicam-se, regra geral, aos locais de grande volume, por exemplo, auditórios, teatros, etc., mas também, em edifícios compartimentados, desde que seja possível controlar a temperatura ambiente individualmente, utilizando-se para o efeito um reaquecimento do ar parcial ou total.

Quando se trata de um único local, o aquecimento do ar faz-se na unidade. Se existem vários locais, é possível realizar na unidade um aquecimento parcial, pré-aquecimento, e complementá-lo terminalmente, ou aquece-lo na totalidade no terminal dispensando-se o pré-aquecimento.

Entenda-se por aquecimento terminal, uma bateria instalada na conduta de insuflação do ar no local, a realizar por resistências eléctricas ou utilizando como fluído a água quente.

*A utilização de resistências eléctricas só deverá ser admissível em casos excepcionalmente muito particulares, por razões de economia de energia. A opção deverá ser a água quente, mas, nestas circunstâncias, o custo do investimento do sistema na instalação poderá ser elevado, caso se trate de um simples reaquecimento (baixa potência), podendo justificar-se a opção pelo aquecimento integral do ar no local.*

Na situação do aquecimento se efectuar na sua totalidade no local, é recomendável a aplicação de elementos convectores a localizar no peitoril da janela. Nestas circunstâncias, a instalação passará a ser do tipo misto ar-água, sistema a dois tubos [15].

Nos sistemas a VAC (Volume de Ar Constante), regra geral, utilizam-se velocidades baixas de escoamento do ar nas condutas, 4 a 6 m.s<sup>-1</sup>, o que implica maiores secções, comparativamente à

utilização de altas velocidades, 15 a 20 m.s<sup>-1</sup>, e consequentemente com maiores perdas de carga (altas pressões) a vencer pelos ventiladores, que terão maior pressão estática, 1000 a 2000 Pa, consumindo mais energia, embora as secções sejam menores [15]. Para estas velocidades de escoamento é necessário aplicar, antes das bocas de insuflação, caixas de redução da pressão com atenuação acústica, devido ao ruído produzido. É facilmente perceptível que uma instalação destas tem custos de investimento e exploração mais elevados, utilizando-se apenas, excepcionalmente, quando não há espaço para montar condutas de maior secção [15].

## 5.6.2 Sistemas a Ar Total – Multizona

### 5.6.2.1 Com Bateria de Reaquecimento Central

Nos sistemas mono conduta, já descritas, o ar tratado com características idênticas pode ser distribuído a vários locais, numa mesma zona, desde que as diferenças em arrefecimento ou em aquecimento, entre elas, sejam pequenas ou praticamente as mesmas, por exemplo, uma zona constituída por diversos gabinetes com a mesma orientação (Sul).

Na situação multizona têm-se locais com diferentes orientações, por exemplo, um localizado na fachada a Norte e o outro a Sul. Nestas circunstâncias, o local Norte encontra-se praticamente sempre em sombra, podendo exigir aquecimento, enquanto que o do Sul está sujeito à exposição solar, mesmo nas estações intermédias, podendo necessitar de arrefecimento. Com efeito, é de aplicar uma unidade central multizona, se não se optar por instalar uma unidade para cada zona.

A unidade central multizona da figura 5.1 possui na sua saída uma conduta de ar para cada zona, onde se localizará uma bateria de reaquecimento. Esta solução tem o inconveniente do sistema se encontrar a arrefecer o ar, em função da zona mais desfavorável, e haver necessidade de o reaquecer para a outra, originando desperdício de energia [15].

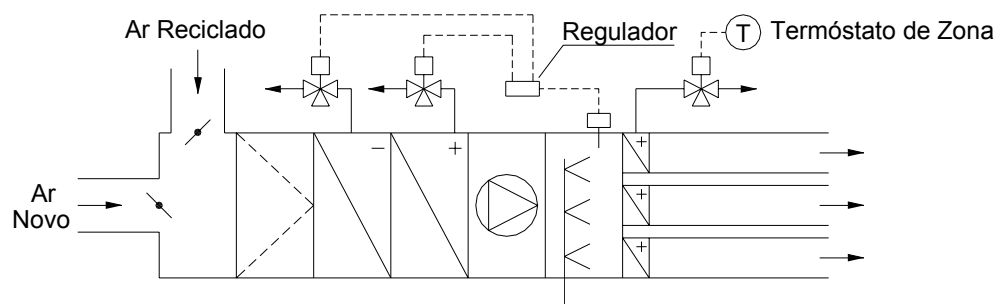


Fig. 5.1 – Unidade central multizona com bateria de reaquecimento para cada zona.

### 5.6.2.2 Com Registos de Mistura

A unidade central multizona da figura 5.2 apresenta uma configuração diferente na disposição da bateria de arrefecimento e de aquecimento, bem como na conduta que serve cada zona é instalado um registo motorizado de mistura do ar arrefecido e quente para as proporções convenientes, resultantes das necessidades detectadas pelo termóstato ambiente.

Os principais inconvenientes deste sistema são, os atravancamentos das condutas, as perdas por fugas nos registos caso não sejam estanques, o consumo de energia devido à mistura do ar arrefecido e quente, assim como os elevados caudais de ar que o ventilador deve forçar, quaisquer que sejam as cargas [15].

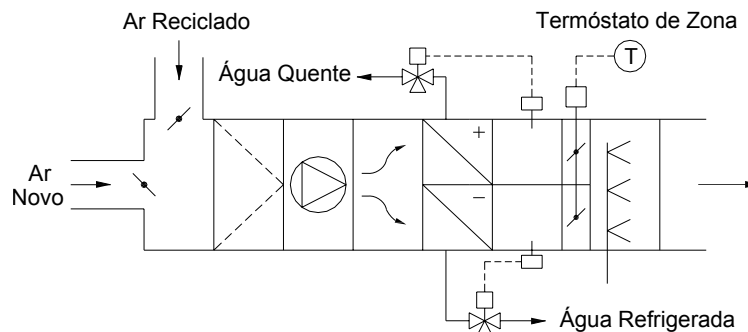


Fig. 5.2 – Unidade central multizona com registo motorizado de mistura.

### 5.6.3 Sistemas com uma Conduta e Volume de Ar Variável - VAV

Nestes sistemas o caudal de ar é variável e a temperatura de insuflação é constante, por exemplo, 15°C [15]. É através da variação do caudal de ar que é possível equilibrar as variações dos ganhos ou perdas de calor internas.

Estes sistemas são destinados aos locais onde há importantes flutuações da carga de calor interna. Se a temperatura ambiente aumenta devido à iluminação e/ou a pessoas, o caudal de ar a insuflar no local aumenta, caso contrário é reduzido ao mínimo. Para o efeito, cada local dispõe de um termóstato de ambiente que ordena a abertura ou fecho de um regulador do caudal de ar, em função da temperatura ambiente, até ao limite mínimo necessário, por razões de higiene, [15] figura 5.3.

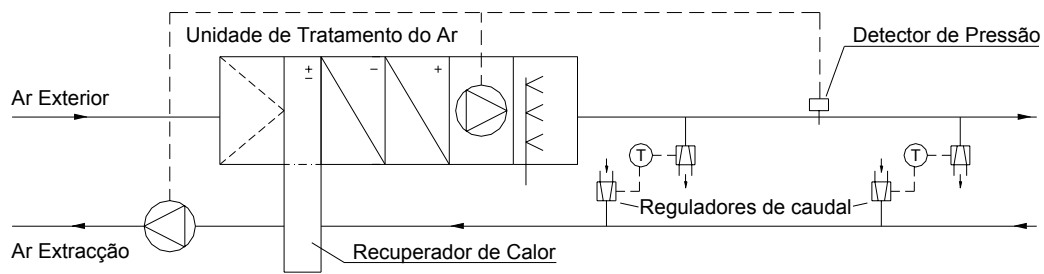


Fig. 5.3 – Esquema de princípio de um sistema a VAV com conduta simples.

A regulação do caudal de ar faz-se ao nível do ventilador por meio de um detector de pressão localizado na rede de condutas.

Neste tipo de sistemas, regra geral, o aquecimento é realizado através de unidades instaladas no local [15].

A principal vantagem de um sistema a VAV provém da diminuição proporcional do consumo de energia térmica, frigorífica e eléctrica do ventilador, quando o caudal de ar baixa.

Para o dimensionamento da central de tratamento do ar pode-se considerar um factor de simultaneidade de 0,8 ou mesmo 0,7. Mas, as derivações da conduta principal do ar devem ser sempre dimensionadas para 100% do caudal [15].

Nos edifícios bem isolados é necessário ter em consideração que *não é recomendável funcionar com ar reciclado*, uma vez que os ganhos são diferentes, por exemplo, entre fachadas Norte e Sul. Com efeito, ao admitir-se ar reciclado, cargas mais elevadas a Sul, a percentagem de ar novo é significativamente reduzida ou mesmo inferior ao mínimo indispensável para a fachada Norte [15].

É por estas razões que um sistema a VAV só deve funcionar com ar novo [15].

O sistema a VAV é muito interessante de utilizar, quando os ganhos de calor interno são baixos e o caudal de ar novo mínimo é suficiente [15].

### 5.6.3.1 Regulação do Ventilador dos Sistemas a VAV

Nestes sistemas, o caudal de ar total varia entre largos limites, pelo que, é necessário equipar o ventilador de insuflação de uma regulação, com sinal proveniente de um detector de pressão localizado na conduta de insuflação, para reduzir o caudal de ar quando aquela aumenta.

A localização do detector de pressão deve fazer-se cuidadosamente, em função da importância e configuração da rede de condutas, das diversas ramificações, do traçado e das flutuações de pressão. Poder-se-á ter de prever duas ou três sondas de pressão [15].

Para a realização da modulação existem vários métodos, contudo, a solução mais económica, do ponto de vista energético, consiste em variar a velocidade de rotação dos ventiladores de insuflação e de extracção [15].

Para a regulação do caudal de ar no local, ou zona, existe um regulador dependente do termóstato ambiente.

### **5.6.3.2 Aquecimento dos Locais com Sistemas a VAV**

O sistema a VAV apresenta o inconveniente de não prever o aquecimento do local. Mas, quando estes se encontram localizados perifericamente, com ganhos flutuando permanentemente, a instalação deve ser complementada com um sistema de aquecimento, através de [15]:

- Equipamentos de aquecimento local ou eventualmente com um pavimento radiante;
- Baterias de reaquecimento descentralizadas, ou por vezes também centralizadas;
- Uma conduta de ar quente (sistema a dupla conduta).

Das três hipóteses, a mais recomendável economicamente é a do aquecimento estático através de elementos convectores instalados perifericamente no peitoril da janela [15].

### **5.6.3.3 Reguladores de Caudal e Difusores dos Sistemas a VAV**

Os reguladores de caudal são constituídos por uma caixa integrando um dispositivo de controlo apropriado através de um sistema auto regulável ou com energia auxiliar [15].

Relativamente aos difusores (bocas de insuflação) é importante salientar que nem todos são apropriados, mas, somente aqueles com taxas de indução elevadas.



## 5.6.4 Outros Sistemas Mono conduta a VAV

### 5.6.4.1 Sistemas Combinados

Dependendo do caso em estudo, por vezes pode ser interessante combinar um sistema a VAV clássico com outros, por exemplo, do tipo indução, com ejecto-convectores. A figura 5.4 apresenta um exemplo, onde existem locais periféricos com ejecto-convectores e introdução de ar primário (novo) a caudal constante, uma zona interior a caudal de ar variável e nos locais periféricos opostos aquecimento estático com introdução de caudal de ar variável [15].

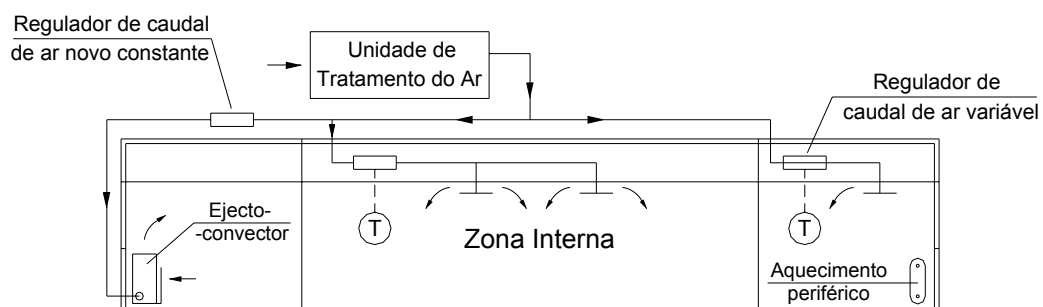


Fig. 5.4 – Sistema a VAV aplicado conjuntamente com outros.

Outra combinação possível será um sistema a uma só conduta com um sistema a duas condutas, figura 5.5 [15].

O sistema a uma só conduta pode servir locais com caudal de ar constante, locais com caudal de ar variável ou, ainda, locais em zonas periféricas equipadas com ejecto-convectores.

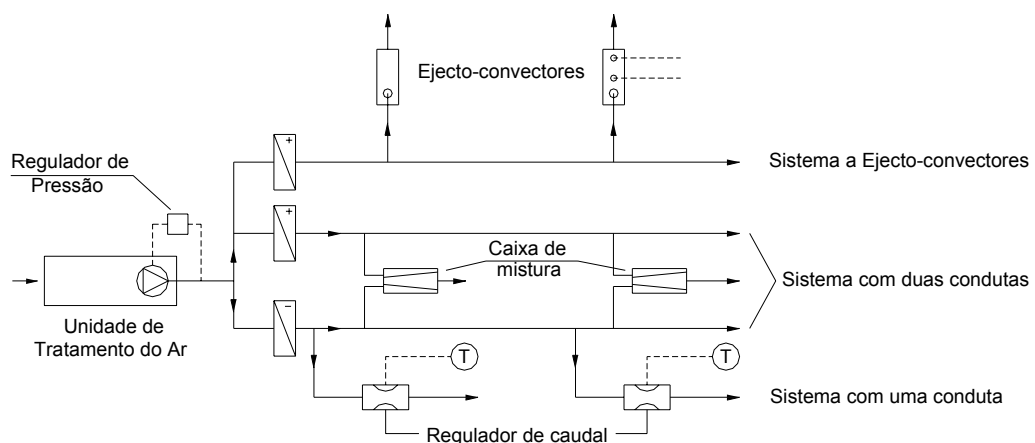


Fig. 5.5 – Instalação com combinação de sistemas: a uma conduta, com duas condutas e a ejecto-convectores.

#### 5.6.4.2 Aquecimento Central do Ar

Este processo aplica-se para evitar as tubagens de água do aquecimento descentralizado, equipamentos locais. Assim, tanto para o arrefecimento como para o aquecimento, os ganhos ou perdas internas dos locais são equilibrados por modulação do caudal de ar. A passagem do regime de funcionamento, arrefecimento/aquecimento, é ordenada por termóstato em função da temperatura ambiente [15].

Neste tipo de instalação, a insuflação do ar é feita através de equipamentos terminais do tipo indução (ejecto-convector), sem nenhuma bateria, instalados perifericamente no peitoril das janelas [15].

A vantagem deste sistema advém dos baixos custos de investimento e exploração, uma vez que se dispõe de uma só conduta e não possui tubagens de distribuição de água nem equipamentos terminais. Contudo, apresenta o inconveniente de reduzidas possibilidades de regulação, no controlo das condições da temperatura ambiente, uma vez que dispõe de um só meio para ser efectuado. É uma instalação muito limitada e inconveniente, porque, regra geral, os ganhos são muito variáveis [15].

#### 5.6.5 Sistemas com Duas Condutas a Caudal de Ar Variável

Este tipo de sistemas pode ser a alta ou baixa pressão, sendo muito comum a primeira situação por permitir ter condutas com menores secções.

O sistema representado na figura 5.6 é o mais comum, relativamente simples e económico, mas não permite um controlo eficiente da humidade do ar [15].

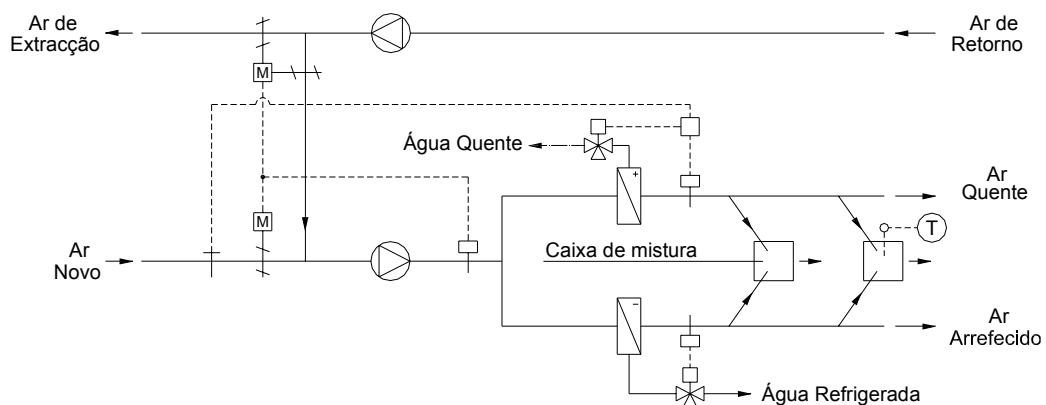


Fig. 5.6 – Esquema de princípio de um sistema com duas condutas a alta pressão.

O ar exterior, com possibilidade de se misturar com o ar ambiente, pode ou não ser previamente submetido a um pré-tratamento, sendo posteriormente forçado, por acção de um ventilador de insuflação, e distribuído em duas condutas, uma com ar quente e outra com ar arrefecido. A condução do ar quente comporta uma bateria de aquecimento e a outra uma bateria de arrefecimento.

A introdução do ar no local faz-se através de um difusor ligado a uma caixa de mistura, ao qual estão acopladas as duas condutas. Este dispositivo de mistura dispõe de dois registos, um para o ar quente e outro para o ar arrefecido, que funcionam sequencialmente accionados por motor [15].

Para que a mistura não resulte em desperdício de energia é necessário cuidar correctamente da temperatura dos dois fluidos, em função da temperatura do ar exterior. Fazendo-se variar correctamente a diferença de temperaturas do ar quente e arrefecido obtém-se uma mistura com os requisitos pretendidos pelas condições de funcionamento [15].

A temperatura do ar forçado pelo ventilador de insuflação é constante e aproximadamente de 15°C, enquanto que os registos de mistura motorizados fazem variar proporcionalmente a quantidade do ar exterior/ ar reciclado. Normalmente, entre os 15°C e os 22°C, o sistema funciona só com ar exterior. Para temperaturas inferiores a 15°C ou superiores a 22°C deve-se reduzir o caudal de ar exterior, de forma contínua, para diminuir os consumos e consequentes custos de exploração [15].

#### **5.6.5.1 Problemas Acústicos dos Sistemas com Duas Condutas**

Tal como nos sistemas a VAV, estes apresentam delicados problemas acústicos, registam-se ruídos, designadamente, nas caixas de mistura e nos reguladores de caudal. Recorde-se que se está na presença de sistemas com escoamento do ar a altas velocidades/altas pressões.

A redução do nível de ruído nos ventiladores faz-se introduzindo atenuadores de som. As caixas de mistura necessitam igualmente de atenuação acústica.

#### **5.6.5.2 Inconvenientes e Vantagens dos sistemas com duas condutas**

Os **Inconvenientes**, de um sistema de dupla condução, são [15]:

- O maior inconveniente, deste tipo de sistema, reside no facto das secções das condutas

serem dimensionadas para os caudais máximos, uma vez que a totalidade dos ganhos de calor interno e das perdas térmicas são cobertas pelo ar tratado insuflado. Mesmo a central de tratamento do ar é importante, porque o caudal de ar total é 2 a 3 vezes superior, comparativamente ao sistema de ar primário com ejecto-convectores. As diferentes zonas estão permanentemente a serem servidas por um caudal de ar correspondente à carga de arrefecimento máximo, resultando num consumo de electricidade elevado, com perdas nas estações intermédias. Comparativamente aos sistemas de indução ou a VAV, o consumo de energia é 30% a 60% superior. É por estas razões que os sistemas com dupla conduta não são praticamente utilizados.

- O consumo de energia é elevado, principalmente nas zonas periféricas;
- Os atravancamentos das condutas de distribuição e na central técnica são grandes;
- O funcionamento com recirculação parcial é indispensável por razões económicas de energia, originando o reenvio de odores para os locais;
- As caixas de mistura são a origem dos ruídos, havendo necessidade de prever medidas especiais para evitar a sua propagação.

As **Vantagens**, destes sistemas, são [15]:

- Não existem equipamentos de aquecimento nos locais, tubagens de água, nem necessidade de zonas, sendo o controlo individual da temperatura simples e rápido, bem como de fácil regulação do sistema;
- As possibilidades de insuflação do ar são numerosas (periféricamente, no corredor, no tecto, etc.). O arrefecimento, nas estações intermédias, faz-se com ar exterior;
- As zonas centrais e periféricas, num edifício, podem ser servidas pela mesma central.

## **5.6.6 Sistemas de Climatização a Ar e Água (Sistemas Mistos)**

### **5.6.6.1 Sistemas com Bateria de Aquecimento Terminal**

Os sistemas de climatização a ar total, já descritos, caracterizam-se pelo facto do tratamento do ar se efectuar em unidades centrais (sistemas centralizadas), sem qualquer tratamento posterior, nos locais, excepto quando se aplicam equipamentos de aquecimento local. Nos sistemas com

baterias de aquecimento terminais, o ar é tratado na unidade central e aquecido para uma determinada temperatura, em função da temperatura exterior, sendo cada boca de insuflação ou zona, consoante os casos, equipada com uma bateria de aquecimento a água quente, que reaquece o ar em função das necessidades.

Para além da rede de condutas de ar é necessário prever uma rede de tubagem de água quente.

Na situação de Inverno, o ar é aquecido na unidade central até uma temperatura de 15° a 17°C. A bateria de aquecimento, situada no local, é comandada por um termóstato ambiente, compensando as perdas por transmissão e, eventualmente, reaquecendo o ar. A bateria de aquecimento terminal pode, também, fazer parte de um aparelho de indução, do ar ambiente, permitindo uma mistura deste [15].

O aquecimento pode fazer-se, também, através de resistências eléctricas terminais. Solução não recomendável, por razões de consumo de energia.

Na situação de Verão, o ar é arrefecido na unidade central até uma temperatura de 12° a 15° C. Este deve absorver a totalidade dos ganhos de calor do local, originando dimensões importantes das condutas, a não ser que se opte por uma solução do escoamento do ar a alta velocidade [15].

As baterias de aquecimento são instaladas em caixas apropriadas.

O inconveniente, deste sistema, reside no facto do arrefecimento do ar ser calculado para o local mais desfavorável e, por conseguinte, o reaquecimento do ar dos outros locais são fontes de perda de energia [15].

Os custos de exploração são elevados, podendo ser superiores em 30% a 60%, comparativamente a um sistema de VAV ou a ejecto-convectores. Mas, esta possui a potencialidade de permitir uma regulação fiável e individual da temperatura ambiente, constituindo uma real vantagem e não necessitando de zonas [15].

#### **5.6.6.2 Sistemas com Unidades Individuais a Indução**

Estes sistemas diferenciam-se fundamentalmente do tipo centralizado, já descritos, por serem dotadas de bocas de insuflação com um permutador de calor para o ar secundário. O permutador é alimentado, consoante a estação, a água refrigerada e/ou quente. De modo que, o caudal de ar primário é estabelecido somente para as necessidades de ar novo e, o permutador secundário

garante os ganhos em calor (situação Verão) ou as perdas por transmissão (situação Inverno), sendo correntemente mais utilizado com dois permutadores, em vez de um [15].

O ar primário é exclusivamente de ar novo. Não há ar reciclado na unidade central, mas somente circulação de ar secundário no local, sem conduta figura 5.7. O caudal de ar primário é limitado à renovação do ar ambiente (constante todo o ano), isto é, quantidade de ar novo estritamente necessária à higiene do local. Resultando portanto numa unidade de tratamento pequena, com condutas de secção reduzida e atravancamentos mínimos [15].

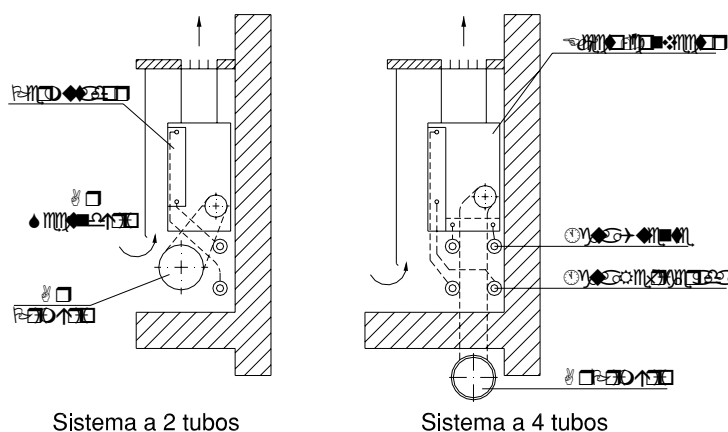


Fig. 5.7 – Unidades terminais de indução para instalação no peitoril das janelas.

Por comparação a outros sistemas de climatização, este, é o que consome menos energia, e somente o de VAV lhe é equivalente, desde que os ganhos de calor sejam reduzidos [15].

A razão de indução é o quociente entre o caudal de ar secundário e primário, situando-se geralmente entre 4 e 2. Admitindo, por economia de energia ou da QAI, que a base da taxa de renovação do ar, por pessoa, está compreendida entre 25 e 50m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> [15].

Na situação de Verão o ar primário é desumidificado e no Inverno humidificado, permitindo por conseguinte o controlo da humidade relativa ambiente.

A temperatura de insuflação do ar novo tratado é mantida praticamente constante, durante o ano, aproximadamente entre 13° e 16° C para uma taxa de humidade próxima do ponto de orvalho (85% a 95% H.R.). O ar primário é introduzido nos ejecto-convectoros a alta velocidade (altas pressões), por meio de um injecto (tubo) produzindo uma perda de carga compreendida entre 150 e 400 Pa. Os injectores são tratados acusticamente por forma a que o nível de potência acústica não exceda 25 a 35 dB (A) [15].

É o fenómeno de indução que garante a aspiração do ar secundário (ar reciclado) através de um ou dois permutadores de calor, permitindo o equilíbrio das perdas ou ganhos registados no local, fornecendo calor ou arrefecimento. É o ar secundário que controla a temperatura ambiente [15].

Os permutadores devem ser protegidos das poeiras do ambiente através de filtros [15].

As unidades de indução são normalmente instaladas no peitoril das janelas. Nesta posição, estes equipamentos permitem uma climatização do espaço até uma profundidade do local de 6 metros [15]. Para distâncias superiores ou locais interiores, existem unidades de indução para instalação no tecto falso, figura 5.8 [25]. Estas permitem uma regulação individual da temperatura ambiente, em função da ocupação.

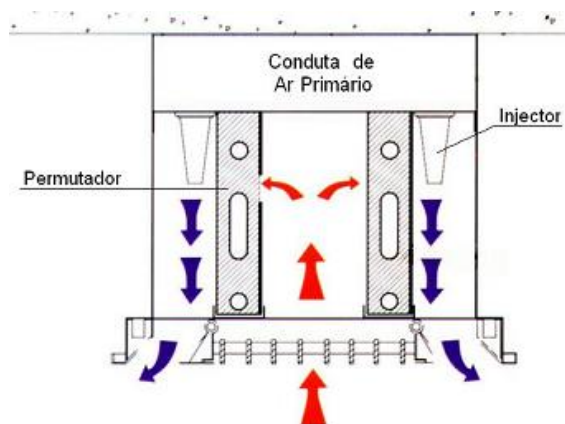


Fig. 5.8 – Unidade de indução de tecto.

## 5.6.7 Sistemas a Dois Tubos (Sistemas a Água)

### 5.6.7.1 Sistema a Dois Tubos com Inversão

O princípio de funcionamento de um sistema a dois tubos com inversa pode ser o da figura 5.9.

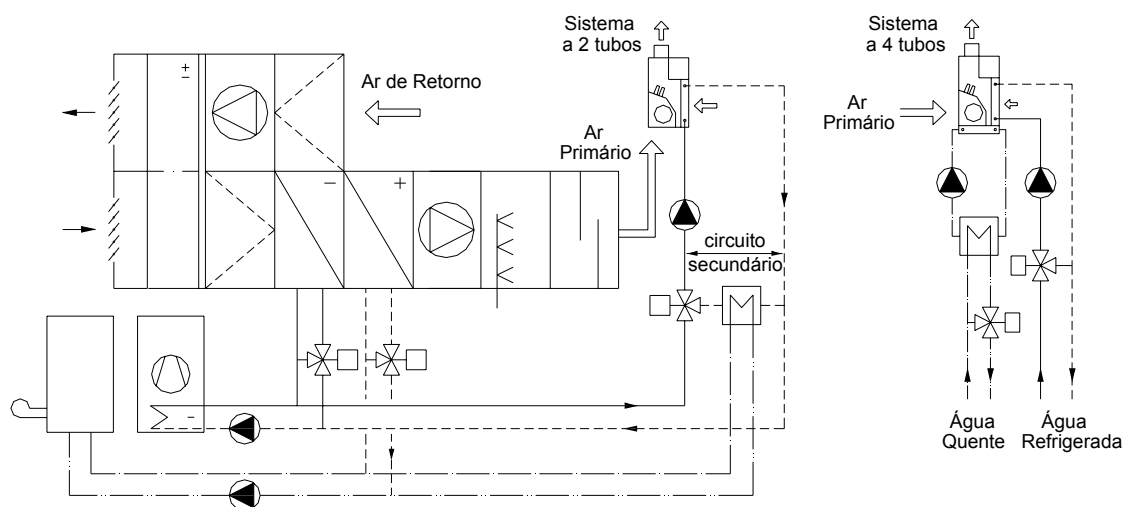


Fig. 5.9 – Esquema de princípio de um sistema de tratamento de ar com unidades terminais de indução.

Os ejecto-convectores necessitam da seguinte instalação:

- Uma tubagem de alimentação de água;
- Uma tubagem de retorno de água;
- Uma tubagem de recolha de condensados;
- Uma conduta de ar.

A comutação (inversão) do aquecimento para o arrefecimento, ou inversamente, faz-se na central através de válvulas automáticas ou manuais. O ponto de inversão situa-se entre 15°C e 18°C de temperatura exterior, quando os ganhos internos (pessoas, iluminação, etc.) são aproximadamente iguais à capacidade de arrefecimento do ar primário. Como estes são muito variáveis, de um local para o outro, não é possível garantir a temperatura desejada em todos, uma vez que o sistema de inversão é do tipo centralizado [15].

É o principal inconveniente de um sistema a dois tubos.

A regulação da temperatura faz-se por meio de válvula instalada na tubagem de ida da água, devendo o utilizador ter conhecimento se a água é refrigerada ou quente. Se a regulação ambiente for através de termóstato, este deverá ser do tipo inversão. Nesta situação é utilizado um permutador de calor para aquecimento da água do circuito secundário, figura 5.9 [15].

No caso de um sistema com mistura (sem permutador de calor), figura 5.10, são utilizadas válvulas de inversão, podendo haver no circuito secundário água refrigerada ou quente. Como as válvulas de regulação  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  não são garantidamente estanques, há possibilidade de mistura de águas (refrigerada/quente). Por este motivo, é mais recomendável a solução com permutador [15].

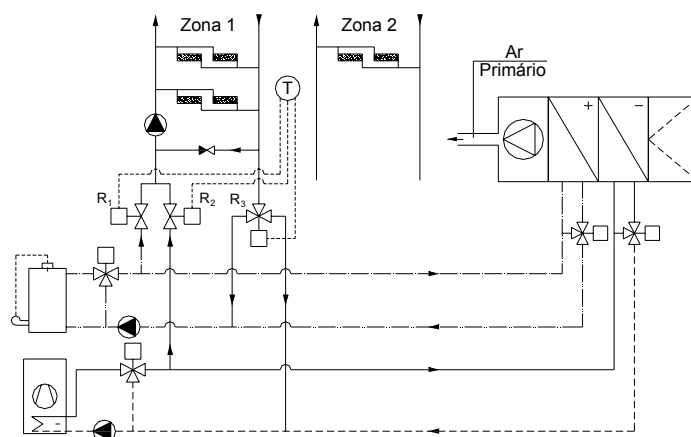


Fig. 5.10 – Esquema de princípio de um sistema de tratamento do ar a 2 tubos e válvula de inversão.



A regulação central da temperatura da água é função da temperatura exterior e ocasionalmente da radiação. Com efeito, as unidades terminais a dois tubos devem ser repartidas consoante a exposição (zonas), permitindo, por exemplo, a possibilidade de aquecimento dos locais orientados a Norte e o arrefecimento dos locais expostos a Sul.

As principais dificuldades no sistema a dois tubos são devidas às cargas variáveis em cada local, resultantes da iluminação, de equipamentos, das protecções solares inapropriadas ou mal utilizadas, etc. Um outro inconveniente resulta da inércia do sistema no momento da inversão, entre o aquecimento e o arrefecimento. O tempo de inversão pode ser de 15 a 30 minutos, por vezes mais. Contudo, é um sistema conveniente para edifícios que possuem duas zonas, dispondo de duas baterias separadas de aquecimento [15].

#### **5.6.7.2      Sistemas a Dois Tubos sem Inversão**

Neste tipo de instalação os ejecto-convectores não são alimentados alternadamente a água quente ou refrigerada, mas somente a água refrigerada. É o ar primário que assegura o aquecimento, função das condições exteriores [15].

A temperatura do ar primário é variável entre 14° e 50° C [15].

O arrefecimento através da água refrigerada é permanente, mesmo no período de aquecimento. Esta solução tem desperdícios de energia consideráveis.

As **vantagens**, destes sistemas, são as seguintes [15]:

- Não há inversão aquecimento/arrefecimento e vice-versa;
- A regulação da temperatura em cada local é simples;
- É um sistema menos inerte que o precedente;

Ao nível dos **inconvenientes** tem-se [15]:

- A necessidade de aumentar o caudal de ar primário;
- A temperatura do ar primário é elevada, no Inverno;
- As perdas de energia;
- A ventilação deve funcionar durante a noite no Inverno.

### 5.6.8 Sistemas a Três Tubos

Neste tipo de sistemas cada ejecto-convector é alimentado por duas tubagens de ida, uma de água refrigerada e outra de água quente, com retorno comum. Dispõe-se, portanto, simultaneamente de água refrigerada e de água quente, permitindo o arrefecimento e/ou o aquecimento do local.

A regulação individual da temperatura ambiente efectua-se através de válvula sequencial comum (ou duas válvulas simples) comandada por um termóstato [15].

O principal inconveniente deste sistema reside no facto das perdas de energia resultantes da mistura da água refrigerada e quente na tubagem de retorno. As perdas são tanto maiores quanto maior for o diferencial de temperaturas da água refrigerada e quente [15].

Não é um sistema muito utilizado por razões dos custos de investimento e de exploração, bem como de eficiência de funcionamento, depois da introdução dos sistemas a quatro tubos (1966) [15].

### 5.6.9 Sistema a Quatro Tubos

#### 5.6.9.1 Sistemas a Quatro Tubos com Regulação por Válvulas

É um melhoramento do sistema a três tubos onde cada ejecto-convector é alimentado por circuitos separados de água, um a água refrigerada e outro a água quente.

O local pode em qualquer momento ser arrefecido ou aquecido. Neste evitam-se as perdas por mistura, existentes nos sistemas a dois ou três tubos.

A introdução de dois permutadores de calor separados no mesmo ejecto-convector, um para água refrigerada e outro para a água quente, veio permitir melhorar consideravelmente este tipo de sistemas. Os circuitos de água são totalmente independentes um do outro. São duas válvulas de três vias que trabalham em sequência e garantem a regulação, figura 5.11 [15].

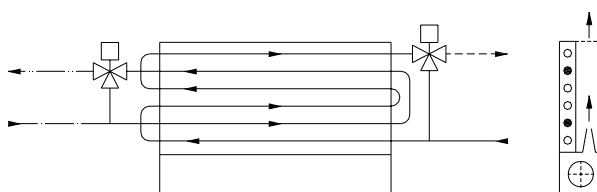


Fig.5.11 – Esquema de princípio de um ejecto-convector com dois circuitos de água independentes e regulação através de válvulas de três vias.

Enquanto a água circula num permutador de calor e é regulada por uma das válvulas, a outra não permite a passagem da água no outro permutador. Este sistema reduz consideravelmente as perdas.

As **vantagens**, deste tipo de sistemas, são as seguintes [15]:

- Muito boa possibilidade de regulação individual da temperatura ambiente;
- O sistema de regulação e o seu cálculo são relativamente simples;
- Não há necessidade de estabelecer zonas.

Ao nível dos **inconvenientes** tem-se [15]:

- Redes de tubagens importantes para água refrigerada, água quente e de condensados;
- É um sistema de custos mais elevados;
- As válvulas não são suficientemente fiáveis (bloqueio após paragens prolongadas).

#### 5.6.9.2 Sistemas a Quatro Tubos com Regulação por Registo

Os melhoramentos mais recentes registados nos ejecto-convectores consistem em utilizar, em vez de válvulas, registos comandados por termóstato em função das exigências, fazendo-se a passagem a uma das baterias (aquecimento ou arrefecimento), figura 5.12 [15].

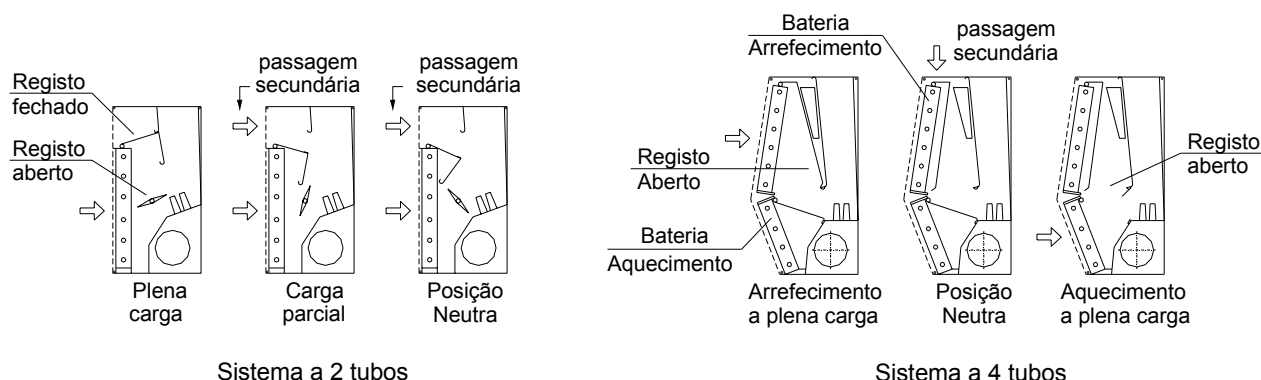


Fig. 5.12 – Funcionamento de ejecto-convectores com regulação por registo.

Os dois circuitos de água, não reguláveis, alimentam sem interrupção cada uma das baterias. A regulação da temperatura é feita através de termóstato ambiente, que comanda os registos motorizados. Quando há necessidade de arrefecimento o ar ambiente é aspirado através da bateria de água refrigerada, enquanto que na situação de aquecimento o ar passa pela de água

quente. Quando não é necessário arrefecer ou aquecer o ar ambiente é aspirado pela passagem secundária [15].

Na posição intermédia uma parte do ar atravessa uma das baterias e a outra a passagem secundária. Para a obtenção de uma boa eficiência destas unidades requerem-se registos estanques.

A temperatura da água quente, durante o dia, não deve ultrapassar o valor compreendido entre 40° a 50° C [15].

No caso de existirem diversas unidades comandadas pelo mesmo termóstato é fundamental verificar se todas funcionam em simultâneo, tendo as mesmas preocupações na situação de diversas válvulas.

As perdas verificam-se, porque uma parte do calor ou do arrefecimento é dissipada por convecção e radiação, enquanto que a outra é devida às frinchas nos registos, originando correntes induzidas. Contudo, nos sistemas bem executados e regulados, o custo estimado anual das perdas não ultrapassa 5% do encargo de exploração do secundário [15].

As **vantagens**, dos sistemas a quatro tubos com regulação por registos, são as seguintes [15]:

- Óptima regulação individual da temperatura;
- Sistema de regulação simples;
- Cálculo simples;
- Nenhuma necessidade de previsão de zonas;
- Baixa inércia e resposta rápida no caso da acção sobre os registos;
- Grande segurança de funcionamento;
- Grande flexibilidade na modificação posterior dos locais;
- Melhores custos, que o sistema de regulação por válvulas e menores perdas de energia.

Ao nível dos **inconvenientes** tem-se [15]:

- Sistema com importantes redes de tubagem;
- Risco elevado de formação de condensados.

Os sistemas de tratamento do ar a quatro tubos aplicam-se, regra geral, aos edifícios com forma geométrica complexa e/ou com ganhos de calor variáveis, por exemplo, com contínuas deslocações projectadas de sombreamento e se deseja uma regulação individual da temperatura do local. Quando os ejecto-convectores são do tipo com registo é possível modificar posteriormente, sem qualquer problema, a disposição dos locais [15].

Por comparação com outros sistemas de climatização os custos de exploração, deste sistema, (electricidade, calor, arrefecimento) são reduzidos [15].

#### 5.6.10 Sistemas com Unidades Terminais a Indução e Volumes de Ar Variável

Nos edifícios de serviços é actualmente possível ter ganhos de calor reduzidos, prevendo-se, para o efeito, boas protecções solares, passivas ou activas, vidros adequados e paredes bem isoladas. Nestas circunstâncias, os caudais de ar tratado nas unidades centrais têm por finalidade a ventilação do espaço. Com uma temperatura do ponto de orvalho de aproximadamente 15° C permite-se a regulação da humidade e a possibilidade de uma boa parte da carga de arrefecimento, quando a renovação do ar se situa entre 2 a 3 vezes por hora [15].

O arrefecimento do secundário ao nível dos ejecto-convectores é muito baixo e não se justifica, por assim dizer, um circuito de água refrigerada. Do ponto de vista dos custos de investimento e de exploração, o sistema mais interessante é então a VAV e aquecimento estático regulado sequencialmente, funcionando com aparelhos como os da figura 5.13 [15].

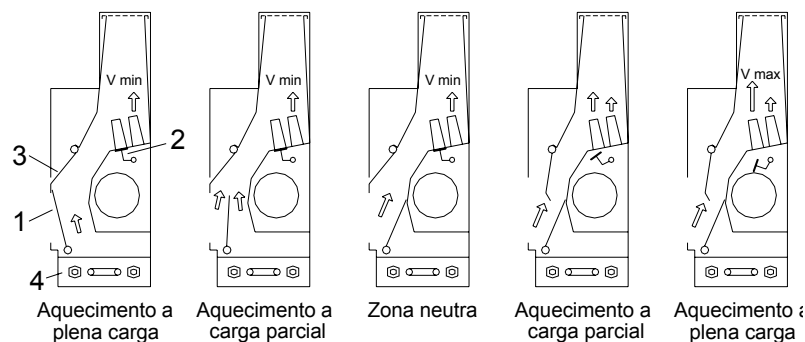


Fig.5.13 – Ejecto-convectores a 2 tubos com sistema a VAV.

O ejecto-convector possui duas fiadas de injectores, um estando permanentemente aberto e assegurando a renovação do ar novo mínimo ( $V_{\min.}$ ), enquanto que o outro abre para deixar passar o caudal de ar complementar, podendo ir até  $V_{\max} \approx 5 \cdot V_{\min.}$ . Este caudal é controlado pelos registos e assegura a carga de arrefecimento necessária através do sistema a VAV [15].

Nesta situação, o permutador de calor (bateria) de aquecimento é fechado por um registo. Há aquecimento sempre que os órgãos de modulação do fluxo de ar primário fixam o caudal de renovação de ar mínimo.

Do ponto de vista da ligação da água o ejecto-convector é o mesmo que o utilizado no VAV, mas devido a este último princípio aplicado, quando ocorre a carga máxima de arrefecimento transportada pelo  $V_{\max.}$ , este permite a regulação individual da temperatura e um conforto equivalente ao de um sistema a quatro tubos [15].

A unidade central de ar primário é concebida como no sistema a VAV, já descrito. A rede de água é geralmente para aquecimento e é do tipo sem inversão, mas no caso dos ganhos térmicos serem elevados pode-se, também, conceber com inversão, necessitando de um termóstato adequado.

Por comparação a um sistema clássico, indução com dois tubos, esta solução permite evitar muitos problemas de inversão nas estações intermédias por aumento da capacidade de arrefecimento. Com a finalidade de estabilizar os movimentos do ar no local, os aparelhos do tipo indicado na figura 5.13, que comportam um registo suplementar, permitem a modulação do caudal de ar na passagem secundária, de acordo com a regulação do VAV, quando o caudal de ar primário aumenta [15].

Por comparação com outros sistemas a VAV, as **vantagens** residem na regulação sequencial do aquecimento e arrefecimento, agrupadas num único aparelho e permitindo interessantes economias de energia. Assim como o sistema de regulação, muito fiável, da bateria de aquecimento por registo [15].

Como **inconveniente**, inerente a todos os aparelhos de indução, é necessário citar a exigência de superfícies (vidros, cortinas e tectos) bem lisas por questões de escoamento do ar, sendo o mais importante e relevante, neste ou noutros aparelhos similares, servirem de mesa de apoio à mais diversa papelada do utilizador do espaço [15].

Em resumo, nos sistemas com unidades terminais a indução, as vantagens e os inconvenientes são:

No que diz respeito a **vantagens** [15]:

- Há em permanência uma renovação de ar regular;
- Os atravancamentos das condutas e da central técnica são mínimos;
- A regulação individual da temperatura em cada local é muito boa, principalmente no caso a quatro tubos;
- Como não há ar reciclado não existe possibilidade de odores de um local para o outro;
- À noite os ejecto-convectores podem assegurar o aquecimento mínimo sem que os ventiladores funcionem.

A título de **inconvenientes** [15]:

- Os ejecto-convectores necessitam de manutenção dos filtros e limpeza das poeiras nos permutadores;
- Há por vezes dificuldades na insuflação do ar ocasionadas quando o tecto falso não é liso ou existem cortinas sobre as bocas de insuflação, bem como as unidades servem de mesa de apoio a objectos utilizados pelas pessoas.

Em síntese é um sistema de climatização bom do ponto de vista de economia de energia, sobre tudo quando os ganhos de calor são importantes.

#### **5.6.11 Sistemas com Ventilador-Convectores**

Os ventilo-convectores (VC's), figura 5.14, são constituídos principalmente por:

- Um ventilador com motor, muitas vezes a velocidade variável;
- Um permutador de calor (bateria) para água quente e/ou água refrigerada;
- Um filtro;
- Uma grelha de aspiração e outra de insuflação de ar;

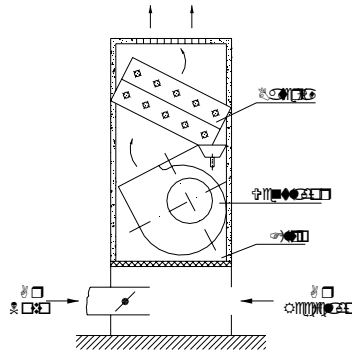


Fig. 5.14 – Pormenor tipo de um ventilo-convetor com duas baterias.

Os VC's podem ser ligados a um sistema a água de dois ou três tubos, se dispõem de uma bateria, e a quatro tubos, se têm duas baterias, tal como nos sistemas ejecto-convectores.

As unidades podem ser posicionadas no peitoril da janela ou no tecto falso, como vulgarmente é utilizado nos quartos dos hotéis.

No que diz respeito à introdução do ar novo, há quatro hipóteses [15]:

- O ar novo é proveniente directamente do exterior atravessando a parede da fachada. Não é uma boa solução, possui os inconvenientes designadamente de filtragem insuficiente, grelha na fachada e influência da pressão do vento;
- O ar novo, primário, é pré-tratado numa unidade central, como no caso dos sistemas a ejecto-convectores, e posteriormente distribuído aos diferentes aparelhos por meio de uma rede de condutas a baixa velocidade;
- O ar exterior é tratado, numa unidade central, e distribuído aos diferentes locais por uma rede de condutas, independentes dos aparelhos terminais, até às bocas de insuflação situadas no tecto falso ou na parede que separa o local da circulação;
- O ar exterior não é tratado, mas apenas filtrado numa unidade central e distribuído aos diferentes aparelhos por meio de uma rede de condutas.

Este tipo de sistemas pode funcionar com ou sem comutação como no caso dos sistemas a ejecto-convectores.



O **inconveniente** destes sistemas resulta das despesas de manutenção dos ventiladores e motores, ser superior comparativamente aos sistemas com ejecto-convectores, e da potência eléctrica de alimentação ser muito mais importante. As principais **vantagens** resultam do facto dos equipamentos terminais pararem no período não ocupado do local (quarto hotel quando encravado com a chave da porta de acesso) e a entrada rápida em funcionamento no regime elevado, seja em aquecimento ou arrefecimento, por selecção da velocidade de rotação elevada do ventilador [15].

#### 5.6.12 Síntese

O presente capítulo inicia-se com uma sucinta história do aquecimento, ventilação e ar condicionado.

Estabelece um método de classificação dos sistemas e apresenta noções dos requisitos que constituem as instalações de AVAC, correntemente aplicadas, por forma a utilizá-las e/ou actuar na manutenção de melhoramento das mesmas.

Em relação aos múltiplos sistemas existentes das instalações de AVAC apresenta-se uma delineação, dos mais correntes, na figura 5.15.

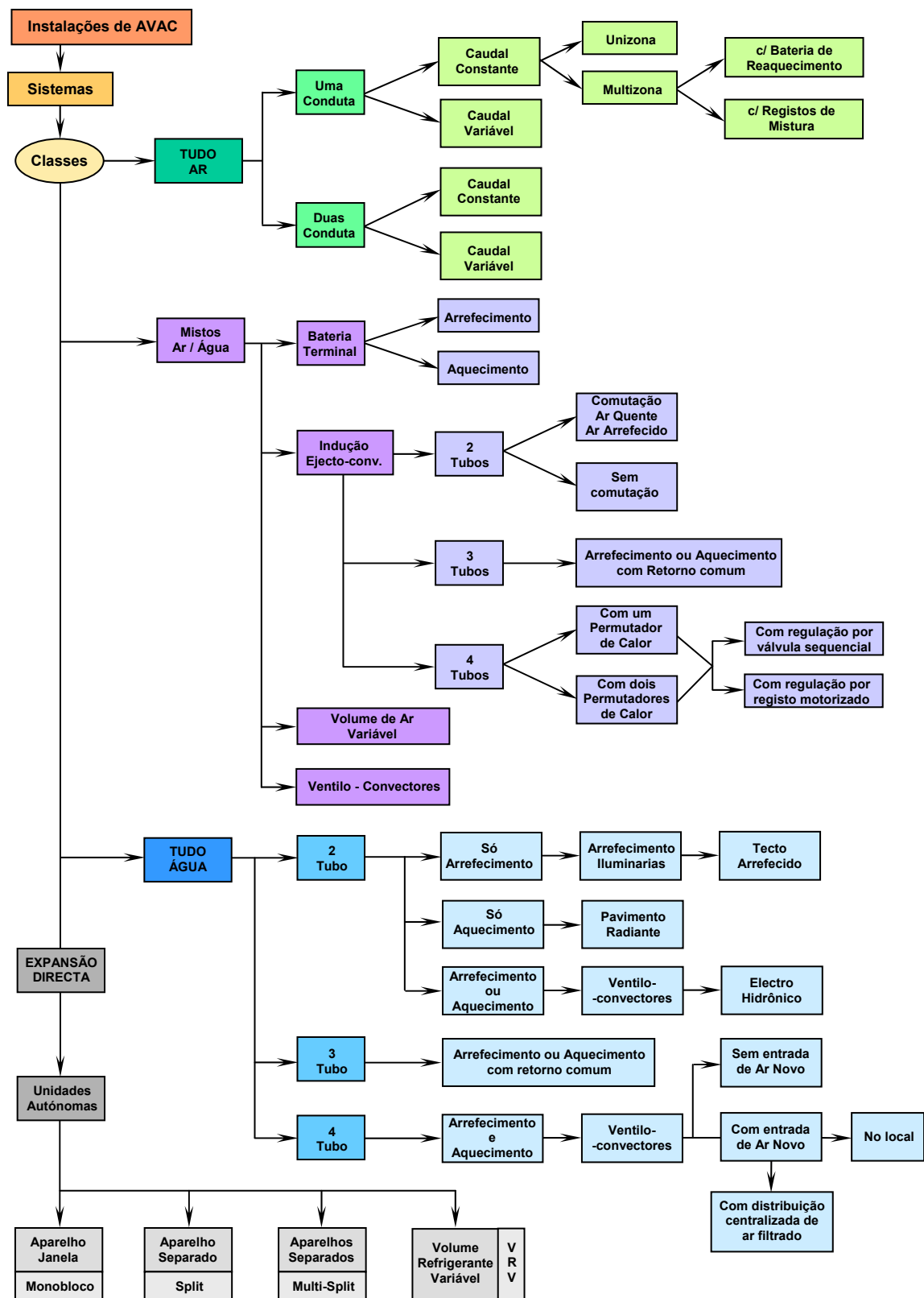


Fig. 5.15 – Delineação dos múltiplos sistemas existentes das instalações de AVAC.

## Capítulo 6

### Equipamentos dos Sistemas de Tratamento do Ar

#### 6.1 Generalidades

As instalações de AVAC necessitam de equipamentos para o processo de transformação de fluidos refrigerantes, ou na produção de água refrigerada e/ou quente, a utilizar nos sistemas de tratamento do ar.

Os sistemas de tratamento do ar, que utilizam equipamentos de transformação de fluidos refrigerantes, podem ser do tipo monobloco ou separados.

A unidade monobloco (aparelho) integra uma máquina de compressão de um fluido refrigerante e constitui o sistema de arrefecimento e/ou de aquecimento do ar. Por exemplo, o climatizador individual de janela ou de parede, em desuso.

Presentemente aplicam-se mais os equipamentos separados, constituídos por uma unidade condensadora exterior, que integra a máquina de compressão de um fluido refrigerante, ligada por uma tubagem em cobre, isolada, a uma unidade evaporadora interior e que constitui o sistema de tratamento do ar (split-system).

Estes equipamentos são correntemente designados de expansão directa, razão pela qual os sistemas fazem parte da classe com o mesmo nome.

Quando o processo de tratamento do ar é através de água utilizam-se baterias integradas em unidades, que podem ser compactas ou modulares, dependendo da potência térmica. Mas, as unidades de tratamento do ar dispõem de mais componentes, razão pela qual é pertinente abordar os mais importantes, na perspectiva da sua utilização, manutenção e qualidade do ar interior.

## 6.2 Ventiladores

Um ventilador é uma turbo máquina que recebe energia mecânica e a utiliza com o apoio de uma ou várias rodas com pás, de maneira a manter um escoamento contínuo de ar ou de um gás, que o atravessa.

Existem três tipos principais de ventiladores, a saber [15]:

- **Centrífugos**

São ventiladores onde o ar entra na roda com uma velocidade essencialmente axial e sai numa direcção sensivelmente paralela a um plano radial.

- **Helicoidais**

São ventiladores onde o ar entra na roda e sai sensivelmente ao longo das superfícies cilíndricas coaxiais ao ventilador.

A um ventilador helicoidal com duas rodas dispostas em série e rodando em sentido contrário chama-se ventilador contra rotativo.

Se um ventilador helicoidal é concebido especialmente para rodar num ou noutro sentido, designa-se por ventilador helicoidal reversível, independentemente do facto das características serem ou não idênticas em ambos sentidos.

Os ventiladores helicoidais tem pás com um perfil em forma de hélice, mas por vezes são designados de axiais por motivo do perfil da pá ter a forma de uma asa de avião.




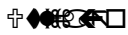


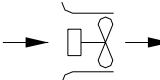

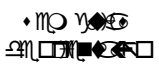
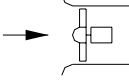

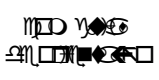
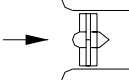


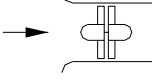
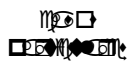

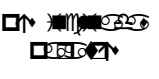

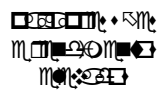
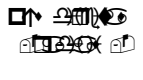

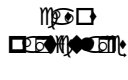
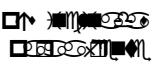



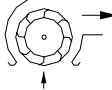
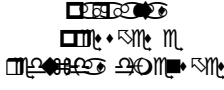
- **Tangenciais**

São ventiladores onde a trajectória do fluido na roda é essencialmente normal ao eixo, tanto à entrada como à saída da roda (na sua zona periférica).

Existe, também, um tipo de ventilador intermédio, dito *helicocentrífugo*, no qual a trajectória do fluído na roda é intermediária entre a relativa aos ventiladores centrífugos e a referente aos ventiladores helicoidais.

No quadro 6.1 [15] apresentam-se os diferentes tipos de ventiladores existentes.

Quadro 6.1 – Resumo dos diferentes tipos de ventiladores.

## 6.2.1 Ventiladores Centrífugos

### 6.2.1.1 Classificação dos Ventiladores Centrífugos

- Quanto ao aumento da pressão, que os ventiladores provocam, são de [15]:
  - Baixa pressão,  $\Delta p$  entre 0 e 720 Pa;
  - Média pressão,  $\Delta p$  entre 720 e 3.600 Pa;
  - Alta pressão,  $\Delta p$  entre 3.600 e 30.000 Pa.
- Quanto à disposição das pás, tem-se [15]:
  - Ventiladores em que a roda é equipada com várias pás na sua periferia;
  - Ventiladores em que a roda é equipada de um número restrito de pás perfiladas ou simples, como o caso das rodas das electrobombas.
- Quanto à forma das pás, figura 6.1, tem-se [15]:
  - Pás com extremidade direita, com ângulo  $\beta = 90^\circ$ ;
  - Pás inclinadas para a frente, a acção, com ângulo  $\beta > 90^\circ$ ;
  - Pás inclinadas para trás, a reacção, com ângulo  $\beta < 90^\circ$ .

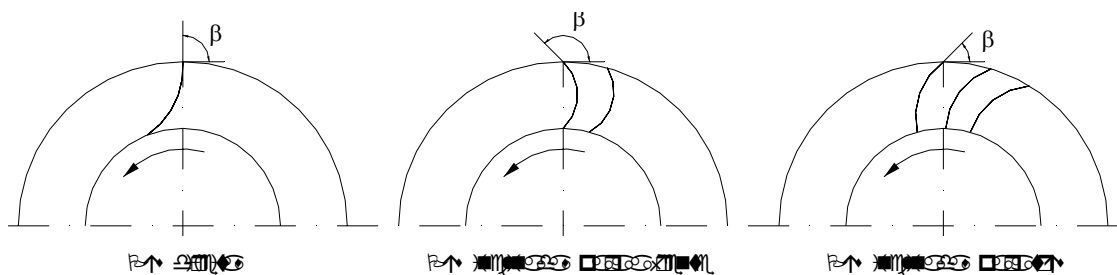


Fig. 6.1 – Ângulo da diferente forma das pás.

- Quanto à aplicação, há ventiladores para gases quentes, poeiras abrasivas, transporte pneumático, etc.

### 6.2.1.2 Características Técnicas dos Ventiladores Centrífugos

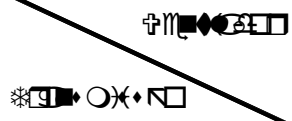







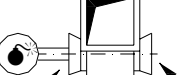

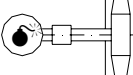
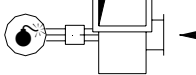
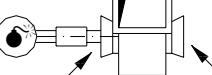

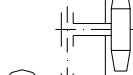
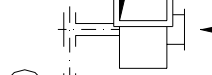
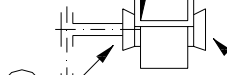
Na selecção de um ventilador deve ter-se em consideração as principais características técnicas, a saber:

- Caudal de Ar [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]
- Temperatura do Ar [°C]
- Pressão Estática Externa [Pa]
- Pressão Dinâmica [Pa]
- Pressão Total [Pa]
- Velocidade [rpm]
- Nível de Pressão Acústica [dB(A)]
- Rendimento [%]
- Potência Nominal do motor [W]
- Potência Absorvida [W]
- Intensidade da Corrente de Arranque [A]
- Intensidade da Corrente em Funcionamento [A]
- Alimentação eléctrica, fase e frequência [U-F-Hz]
- Dimensões máximas do Conjunto (Motor/Ventilador) [mm]

### 6.2.1.3 Accionamento e Regulação dos Ventiladores Centrífugos

Quase todos os ventiladores são accionados por motores eléctricos. As diferentes possibilidades são dadas no quadro 6.2 [15].

Quadro 6.2 – Diferentes possibilidades de accionamento dos ventiladores.

A variação do caudal de um ventilador pode-se fazer modificando a curva do circuito ou do ventilador, existindo diferentes tipos, a saber [15]:

- Regulação, a velocidade de rotação constante, por obturação parcial do circuito com auxílio de um registo regulável;

É um sistema barato, mas pouco económico, que não convém a não ser para pequenas potências. Os limites de regulação vão de 100% a 85%;

- Regulação, sempre a velocidade constante, através de pás (guias) móveis instaladas na entrada da roda: este dispositivo permite dar ao fluído um movimento de pré-rotação, conveniente, sobretudo, para grandes potências. Os limites de regulação vão de 100% a 65%;
- Regulação da velocidade de rotação a partir de motores eléctricos trifásicos alimentados por variador de frequência.



A regulação da velocidade de rotação durante o funcionamento é em todos os casos o melhor método, mesmo do ponto de vista do nível da potência acústica, tanto mais quando não se pretende manter a pressão na rede num valor constante.

Em todos os casos é necessário verificar o custo de investimento do mecanismo de alimentação, que pode ser muito elevado, sobretudo quando é prevista uma regulação da velocidade de rotação.

#### **6.2.1.4 Selecção do Ventilador Centrífugo**

Existem diversas possibilidades de selecção de um ventilador para a mesma potência. Esta faz-se, regra geral, em função do nível sonoro, do preço, da alimentação, da forma e características, das dimensões, da segurança do funcionamento e do rendimento, encontrando-se todos estes dados indicados nos catálogos dos fabricantes.

Nas instalações de climatização o problema do ruído é frequentemente determinante. Uma velocidade de descarga baixa nem sempre significa um ruído correspondente reduzido. Contudo, nos casos dos ventiladores em descarga livre, esta velocidade deverá ser baixa para minimizar a perda de pressão dinâmica [15].

Os valores das velocidades de descarga podem ser [15]:

- Baixas, quando  $v < 10 \text{ m.s}^{-1}$ ;
- Médias, quando  $10 < v < 15 \text{ m.s}^{-1}$ ;
- Altas, quando  $v > 15 \text{ m.s}^{-1}$ .

Para obter um ventilador o mais silencioso possível é importante que se trabalhe com baixas velocidades, o que conduz a equipamentos onerosos. Em certos casos é vantajoso utilizar ventiladores mais pequenos, rodando mais rapidamente, e reduzir o ruído por meio de atenuadores de som localizados a jusante e/ou a montante [15].

Para baixas pressões os custos de investimento são mais baixos com ventiladores de pás curvadas para a frente, enquanto que para pressões elevadas são os ventiladores com pás curvadas para trás. Utilizam-se rodas a acção para pressões até 600 a 650 Pa [15].

O rendimento dos ventiladores utilizados em ventilação e climatização não têm uma importância capital, excepto quando os caudais são importantes, a pressão é elevada e os períodos de funcionamento são longos. Se não, é preferível optar por rendimentos mais elevados e utilizar os de pás inclinadas para trás.

O rendimento máximo é aproximadamente de 85% quando as pás são inclinadas para trás e de 60% quando são inclinadas para a frente. Uma variação da pressão mínima (por exemplo a sujidade de um filtro) faz variar muito o caudal, quando a curva característica do ventilador é horizontal (rodas a acção) e muito menos quando é imergente (rodas a reacção) [15].

É necessário, também, pensar que quando o caudal aumenta a potência absorvida pelos ventiladores de pás curvadas para a frente cresce fortemente e há portanto o risco de sobrecarregar rapidamente o motor de accionamento [15].

Nas unidades centrais de tratamento do ar, os ventiladores debitam frequentemente numa secção de descarga perdendo pressão dinâmica à saída. Nesta situação não se utilizam ventiladores a acção, a sua pressão dinâmica na descarga é bastante elevada. Pelo contrário, os ventiladores ditos de alto rendimento (a reacção) são bem melhores [15].

Para baixas potências é, regra geral, preferível utilizar ventiladores com accionamento por correias, com montagem e desmontagem do motor mais fácil e versatilidade de modificação da transmissão, podendo-se variar posteriormente o caudal ou a pressão.

Do conjunto de componentes que constituem um ventilador, os rolamentos são os órgãos que requerem particular atenção, razão pela qual são dimensionados para uma probabilidade de 90% em funcionamento contínuo sem problemas durante 40.000 horas à velocidade máxima. Isto significa uma duração de vida média provável de 200.000 horas ou mais para velocidades inferiores às máximas. Todos os rolamentos são montados no veio com apoio de cones de aperto para garantir um alinhamento perfeito e um funcionamento sem vibração. Consoante o tipo de ventilador, os rolamentos poderão ser de esferas ou de rolos cilíndricos [26].

Existem ventiladores em material plástico ou em aço especial para assegurar a circulação de gases ou vapores agressivos. A pressão destes é limitada. Os materiais plásticos mais utilizados são poli cloreto de vinilo (PVC), o polietileno (PE), o poliestireno (PS), os poli amidos (PA) e as resinas de poliésteres reforçados. Em nenhum dos casos a temperatura do fluido deve ser superior a 100°C [15]

### 6.2.2 Ventiladores Helicoidais

Neste tipo de equipamento o ar circula na roda com uma direcção paralela ao seu eixo.

Os principais componentes deste ventilador são:

- Roda central com pás repartidas regularmente até à periferia;
- Invólucro ou cárter cilíndrico curto (virola);
- Motor de accionamento.

Contudo, existem dispositivos complementares destinados ao melhoramento do rendimento, a saber:

- Pavilhão de aspiração,
- Roda directriz com guias de orientação antes ou depois da roda giratória;
- Dispositivo de variação do ângulo de posição das pás.

#### 6.2.2.1 Tipos de ventiladores Helicoidais

Os diferentes tipos são [15]:

- Ventiladores a hélice, são aqueles que possuem pás mas não têm invólucro (ventiladores de tecto para movimentação do ar);
- Ventiladores murais e/ou de janela com invólucro;
- Ventiladores helicoidais sem guias de orientação para baixas pressões;
- Ventiladores helicoidais com guias (pás) de orientação com ou sem difusor para altas pressões e rendimento elevado;
- Ventiladores contra-rotativos com escalonamento para muito altas pressões (até 3 vezes superiores aos ventiladores helicoidais sem guias de orientação), com dois motores de alimentação;
- Ventiladores com ângulo de pás variáveis em funcionamento, ou com guias móveis para sistemas a VAV.

Existem ainda outras classificações:

- Consoante a forma das pás: pás planas, pás com perfil;
- Consoante o material das pás: pás em aço, ferro fundido, alumínio, material plástico e madeira;
- Consoante a pressão, a saber [15]:
  - Ventiladores a baixa pressão para valores inferiores a 300 Pa;
  - Ventiladores a média pressão para valores inferiores a 1000 Pa;
  - Ventiladores a alta pressão para valores superiores a 1000 Pa.
- Consoante o modo de fixação das pás:
  - Fixas;
  - Orientáveis manualmente e individualmente ou em bloco. A modificação do ângulo de posição permite fazer variar dentro de largos limites, tanto o caudal como a pressão;
  - Orientáveis em movimento.

O rendimento destes equipamentos é muito variável podendo estar compreendido entre 30% a 90%, consoante os modelos, a saber [15]:

- Ventiladores de parede 40% a 50%;
- Ventiladores helicoidais sem guias de orientação 60% a 70%;
- Ventiladores helicoidais com guias de orientação 70% a 90%;
- Ventiladores helicoidais contra-rotação 80% a 90%.

#### **6.2.2.2 Accionamento dos Ventiladores Helicoidais**

Regra geral faz-se directamente por meio de motor com ou sem acoplamento, mas por vezes através de correias trapezoidais.

Quando possuem duas rodas têm dois motores separados e sentidos de rotação contrários.

### **6.2.2.3 Regulação dos Ventiladores Helicoidais**

É possível a adaptação do caudal de ar às necessidades, de diferentes maneiras, a saber [15]:

- Regulação com obturação parcial do circuito de ar através de registo. É uma solução com bom preço mas pouco económica, portanto pouco recomendável, excepto para pequenas potências. Os limites de regulação estão compreendidos entre 50% e 100%;
- Regulação, sempre a velocidade de rotação constante, a partir de um posicionamento móvel situada à entrada da roda e que produz um movimento de pré-rotação;
- Regulação da velocidade de rotação. É teoricamente a melhor solução, mas origina perdas suplementares ao nível dos motores, sem ter em conta a necessidade de limpeza ocasional dos carvões;
- Regulação, a velocidade constante e em funcionamento, do ângulo de posição das pás. O ventilador pode então funcionar com limites de regulação importantes sempre com o melhor rendimento.

### **6.2.2.4 Selecção dos Ventiladores Helicoidais**

Para determinadas características a selecção de um ventilador faz-se em função de certo número de critérios, em particular:

- Custo de investimento;
- Nível sonoro;
- Custo de exploração (rendimento);
- Dimensões.

A selecção do ventilador mais apropriado faz-se através dos catálogos dos diferentes fabricantes e entre a escolha de um ventilador mais barato, mas ruidoso e de baixo rendimento ( $\eta = 50\%$ ) ou um, regra geral, mais caro, mas silencioso e melhor rendimento ( $\eta = 0,85$ ), sendo pois mais preferível para minimizar o consumo de energia eléctrica [15].

### 6.3 Vantagens e Inconveniente entre Ventiladores Helicoidais e Centrífugos

As **vantagens** dos ventiladores helicoidais em relação aos ventiladores centrífugos são as seguintes [15]:

- Menores dimensões;
- Em geral menos caros;
- Melhores possibilidades de utilização nos sistemas a VAV.

Ao nível dos **inconvenientes** é de citar [15]:

- Afastamento mais importante nas curvas características, ruídos mais elevados;
- Maiores dificuldades na montagem e desmontagem do motor;
- Maior dificuldade na variação da potência, se a alimentação não é de transmissão por correias;
- Necessidade de rigor no cálculo das perdas de carga e selecção do tipo de ventilador.

### 6.4 Baterias de Aquecimento e Arrefecimento do Ar

#### 6.4.1. Baterias de Aquecimento do Ar a Água ou a Vapor

A finalidade de uma bateria de aquecimento, no tratamento do ar, é fornecer a temperatura pretendida, para o bom funcionamento de um sistema de termoventilação ou de climatização. Uma bateria de aquecimento pode ser utilizada simplesmente em aquecimento, quando a mistura do ar é aquecida uma só vez numa só bateria, ou em reaquecimento quando, depois de ter sido submetido a outros tratamentos (eventual pré-aquecimento), a mistura do ar tem de passar numa segunda bateria de aquecimento para garantir a temperatura pretendida.

As baterias são constituídas por tubos dispostos em fiadas nos quais se encontram inseridas alhetas. Os tubos são soldados na sua extremidade a colectores comuns, figura 6.2 [15]. A mistura do ar circula perpendicularmente aos tubos, atravessando as alhetas, e o fluído de aquecimento, água quente ou vapor, circula no interior dos tubos.

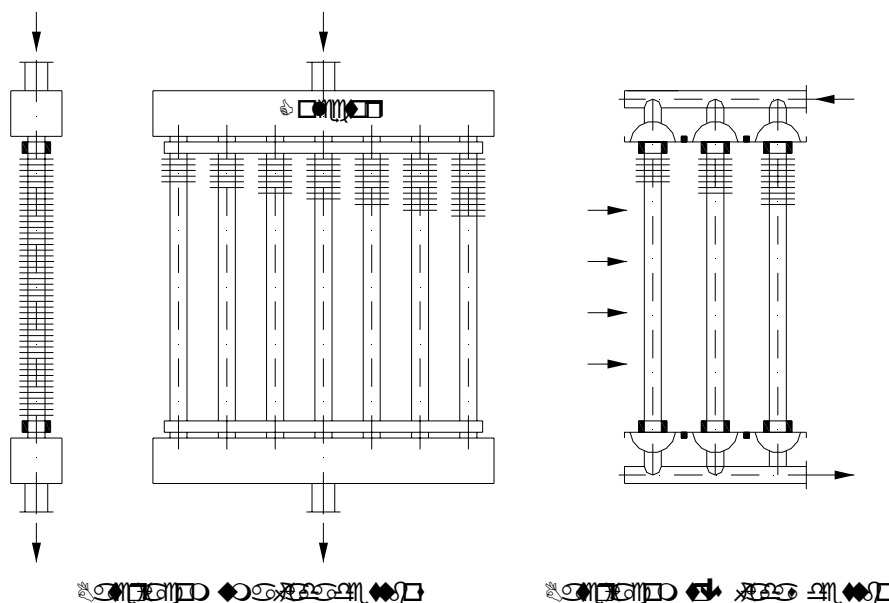


Fig. 6.2 – Esquema de princípio de uma bateria de aquecimento do ar.

Os tubos e alhetas podem ser em aço, submetidos a uma galvanização por imersão a quente ou a uma estanhagem electrolítica, ou em cobre com alhetas em alumínio. O espaçamento das alhetas pode estar compreendido entre 2 e 6mm e a espessura destas ser de 0,2 a 0,5mm. As alhetas podem ser comuns a dois, três ou vários tubos [15].

É chamada uma bateria de aquecimento a uma só fiada de tubos, a todo o componente de aquecimento que contém uma só fileira de tubos dispostos uns ao lado dos outros. Se a potência térmica de uma fileira de tubos não é suficiente, aplicam-se duas, três ou mais, dispostas umas após outras, permitindo obter potências térmicas mais elevadas. Em certos modelos os colectores são comuns a duas ou a três fiadas de tubos.

#### 6.4.1.1 Características Técnicas de uma Bateria de Aquecimento a Água ou Vapor

As principais características técnicas, a ter em consideração na selecção de uma bateria, são:

- Temperatura do fluido de aquecimento à entrada [° C]
- Temperatura do fluido de aquecimento à saída [° C]
- Caudal do fluido:
  - Água [l.h<sup>-1</sup>]
  - Vapor [kg.h<sup>-1</sup>]
- Potência de aquecimento da bateria [kW]

- Perda de carga da água na bateria [Pa]

#### 6.4.1.2 Escoamento da Água na Bateria de Aquecimento

Quando o fluido de aquecimento é a água quente, é necessário diferenciar o aquecimento em termocifão do aquecimento acelerado, figura 6.3 [15]. No primeiro caso, as velocidades da água admissíveis são pequenas, 0,05 a 0,25 m.s<sup>-1</sup>, por forma a ter no escoamento a mínima perda de carga, enquanto que no segundo, é possível ter velocidades mais elevadas de 0,5 a 2 m.s<sup>-1</sup>, consoante a perda de carga admissível [15].

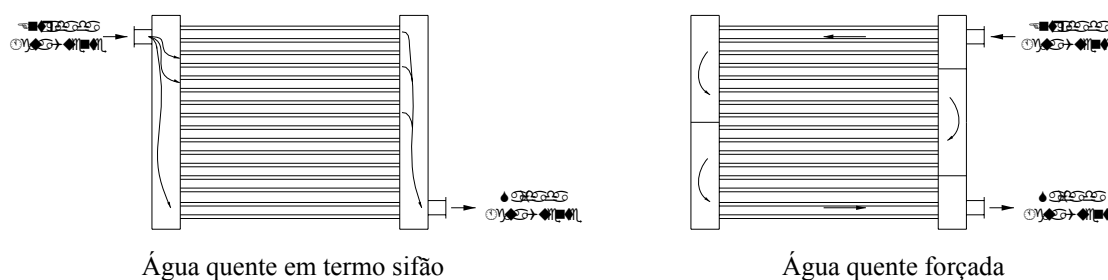


Fig. 6.3 – Escoamento da água numa bateria de aquecimento.

Na prática obtém-se velocidades de água mais elevadas dispondo de separadores nos colectores.

A maioria das baterias de aquecimento é do tipo correntes cruzadas. Nestas circunstâncias, a bateria dispõe de várias fileiras de tubos e a alimentação da água faz-se de forma a que o escoamento seja misto, isto é, a correntes cruzadas e a contra fluxo, permitindo, com efeito, o aumento do coeficiente de eficiência da bateria, figura 6.4 [27].

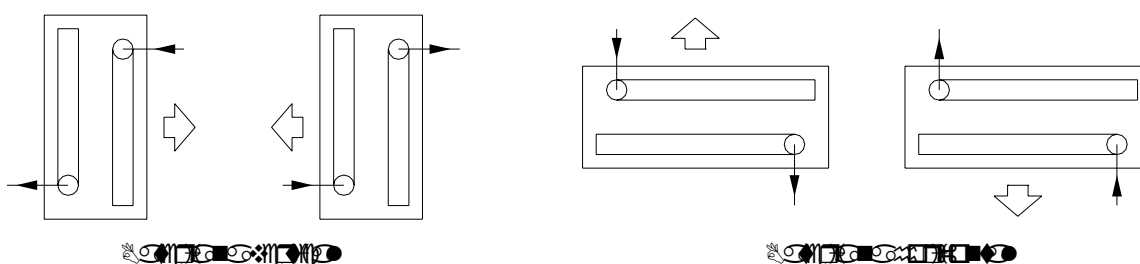


Fig. 6.4 – Posições de funcionamento de uma bateria de água quente.

#### 6.4.1.3 Baterias de Aquecimento Eléctrico

Este tipo de baterias é frequentemente utilizado em instalações de pequena potência.

Uma bateria eléctrica compreende uma estrutura em chapa de aço no interior do qual se encontram os elementos de aquecimento eléctrico através dos quais passa o ar a aquecer. Os



lados da entrada e saída da bateria são constituídos por uma moldura em cantoneira para permitir a sua ligação à rede de condutas. Os bornes são protegidos de contactos acidentais.

Os elementos de aquecimento podem ser [15]:

- Resistências em fio ou em banda realizadas em liga de níquel e cromo e tensas entre isoladores cerâmicos;
- Barras em cobre ou em aço, revestidas de um material isolante em magnésio ou areia de quartzo nos quais os fios são dispostos em espiral. Existem muitos modelos no mercado, comercializados com designação diversa.

Quanto à forma podem ser redondas, ovais ou planas, facilmente arqueáveis, vendidas com o comprimento pretendido e algumas são dotadas de alhetas.

As ligações fazem-se no exterior da caixa. O número de elementos de aquecimento depende da potência requerida, da natureza e da tensão da corrente.

Para potências muito pequenas utiliza-se um só escalão de aquecimento, enquanto que para potências maiores é quase sempre necessário efectuar uma repartição em três ou mais escalões. A tensão de alimentação é regra geral de 250V.

Quando a potência ultrapassa os 3 kW, é necessário verificar se esta se encontra bem repartida nas três fases [15].

A velocidade do ar deve ser a mais elevada possível.

Em todos os casos que se utilize uma bateria eléctrica, é necessário não subestimar o perigo de incêndio uma vez que a temperatura superficial atinge 400 a 600° C [15].

Se o escoamento do ar é interrompido a temperatura das resistências aumenta perigosamente com os riscos que lhe são inerentes.

Para evitar estas situações, utilizam-se alguns dispositivos de segurança [15]:

- Acoplamento do interruptor do motor com a protecção da bateria;

- Instalar na conduta de insuflação um relé com interruptor de fluxo, que corta a alimentação eléctrica à bateria em caso de interrupção do ventilador;
- Instalar uma sonda de sobreaquecimento, que corta a alimentação eléctrica à bateria quando a temperatura atinge um valor determinado;
- Prever a temporização da paragem do ventilador para potências elevadas ( $> 15 \text{ kW}$ ).

#### **6.4.2 Baterias de Arrefecimento**

Estas são muito semelhantes às baterias de aquecimento, mas funcionam com água refrigerada forçada.

Pode-se utilizar sem nenhuma contra-indicação um permutador de calor previsto funcionar com água quente como bateria de arrefecimento do ar, fazendo circular água fria ou refrigerada em vez de água quente. Nos casos em que se dispõe de pressão suficiente pode-se optar por uma velocidade de passagem da água nos tubos mais elevada do que na água quente [15].

Para obter um certo grau de arrefecimento é necessário dispor de diversas fileiras de fiadas de tubos ao lado uma das outras. A água refrigerada circula em contra fluxo e em correntes cruzadas em relação ao ar de uma fiada à outra.

Relativamente às permutas de calor entre a água e o ar é necessário considerar os dois casos seguintes [15]:

- Arrefecimento do ar sem separação de água (bateria seca);
- Arrefecimento do ar com separação de água (bateria húmida).

A diferença reside no facto de que, no arrefecimento do ar com separação de água, há sempre separação da água contida no ar, quando a temperatura da superfície exterior dos tubos é inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar [15].

Uma bateria de aquecimento ou de arrefecimento, a água quente ou refrigerada, só funciona bem se o controlo do fluído for eficaz. Com efeito, é corrente aplicarem-se válvulas motorizadas de duas ou três vias. As válvulas de duas vias são normalmente tudo ou nada, isto é, abrem ou fecham a alimentação da água à bateria, enquanto que as válvulas de três vias são modulantes,

permitindo obter-se uma temperatura do ar constante através da variação do fluxo de água, conforme esquema da figura 6.5.

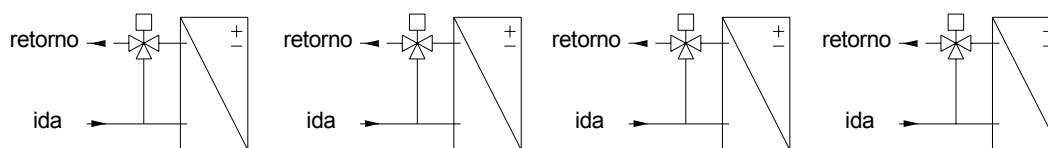


Fig. 6.5 – Válvulas instaladas na tubagem de saída do fluido térmico.

A montagem de válvulas na tubagem de entrada do fluido térmico, na bateria, é menos recomendável, pois requer uma válvula de construção diferente (mais robusta), devido às forças dinâmicas no seu interior.

## 6.5 Filtros de Ar

Os filtros de ar são dispositivos destinados a garantir a retenção das impurezas sólidas, líquidas ou gasosas contidas no ar atmosférico. Estas impurezas são formadas por partículas de diferentes origens e dimensões, compreendidas entre 0,001 e 500 micro, misturadas e dispersas no ar. A captação das partículas sólidas ou líquidas pode efectuar-se através de diversos métodos físicos, enquanto que as partículas gasosas fazem-se por absorção química e/ou física.

A concentração em partículas (segundo a norma NF X 44-101 “Definição e classificação da pureza particular do ar e de outros gases”) [15] do ar atmosférico não poluído situa-se entre 0,05 e 3,0 mg.m<sup>-3</sup> e a conveniência de um filtro situa-se entre 3 e 20 mg.m<sup>-3</sup>, caso não se trate de atmosferas particulares, necessitando de dispositivos de filtragem mais eficazes [15].

O poder de retenção das partículas de um filtro é baseado na diferença dos efeitos físicos, onde os mais importantes são o *efeito de difusão*, o *efeito de inércia* e o *efeito de intercepção directa*.

O mecanismo de retenção de uma só fibra pode ser generalizado para o conjunto do material filtrante. É a partir deste mecanismo que se determina o poder de retenção teórico da espessura do material filtrante virgem [15].

A eficácia do mecanismo de retenção de uma única fibra é função [15]:

- Do diâmetro da fibra;
- Da dimensão das partículas;
- Da velocidade de escoamento;

- Da repartição das partículas a montante da fibra.

O *efeito de difusão* é uma consequência do movimento browniano das moléculas e só é eficaz para partículas de reduzidíssimas dimensões. O movimento browniano tem por efeito deslocar cada partícula num movimento difuso em torno de uma linha de corrente imaginária. Esta partícula só é retida quando se encontra suficientemente próxima e durante bastante tempo na proximidade da fibra, figura 6.6 [15].

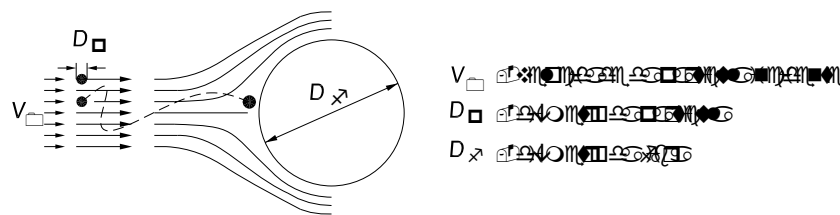


Fig. 6.6 – Esquema de retenção de uma partícula por efeito de difusão de uma única fibra.

O *efeito de inércia* permite a retenção de uma partícula pela fibra, quando possui uma dimensão suficiente que a impede de seguir o percurso de uma linha de corrente e se encontra a uma distância crítica da linha mediana, figura 6.7 [15].

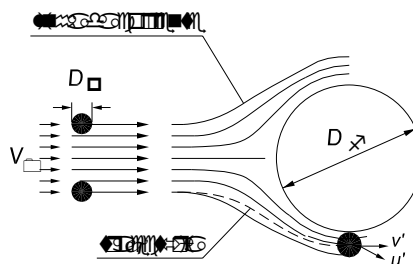


Fig. 6.7 – Esquema de retenção de uma partícula por efeito de inércia de uma única fibra.

O *efeito de intercepção directa* dá-se quando uma partícula se encontra numa linha de corrente cuja distância à fibra durante o desvio é inferior à metade do diâmetro da partícula, figura 6.8 [15].

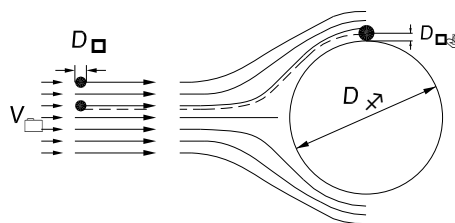


Fig. 6.8 – Esquema de retenção de uma partícula por efeito de intercepção directa.

São as forças electrostáticas, ditas de Van der Waals, que são responsáveis pela aderência das partículas na superfície da fibra. O poder de retenção, tanto de uma fibra única como de uma espessura de fibra, é influenciado pela natureza da partícula, pela fibra em si, bem como pelo estado superficial desta última [15].

Os filtros dividem-se em:

- Filtros para poeiras ordinárias e finas (denominados correntemente por pré-filtros);
- Filtros para poeiras ultra-finas (filtros absolutos).

A retenção é determinada pela razão entre a massa de partículas retidas e a massa de partículas incidentes [15].

A medida efectua-se a partir da concentração em poeiras do ar não filtrado a montante ( $g_b$ ) e a concentração de poeiras filtrada a jusante ( $g_p$ ), sendo o poder de retenção (rendimento) obtido através da equação seguinte:

$$\eta = \frac{g_b - g_p}{g_b} \times 100 \text{ em \%} \quad (5.1) [15]$$

A permeabilidade do filtro é obtida através da expressão:

$$P_g = 100 - \eta \quad (5.2) [15]$$

O seu controlo efectua-se por pesagem da proveta.

É sempre necessário pensar que, qualquer que seja o tipo de filtro, o seu grau de retenção não é constante, mas essencialmente variável. No caso dos filtros mecânicos ele aumenta com a sujidade, consequência da filtração complementar devido à poeira retida.

O rendimento de um filtro, nas condições reais de funcionamento, não corresponde verdadeiramente àquele medido no banco de ensaios, devido ao facto das poeiras do ar exterior serem variáveis e imprevisíveis.

### 6.5.1 Métodos de Ensaio dos Filtros

Com vista a determinar a eficácia de um filtro de ar, este deve ser submetido a ensaios específicos para as condições que se aproximem o mais possível daquelas constatadas no local.

No documento Eurovent 4/5, os parâmetros que entram em linha de conta para caracterizar um filtro de poeiras ordinárias ou finas são os seguintes:

- Caudal de ar;
- Perdas de carga inicial e final;
- Poder de retenção (rendimento);
- Eficácia;
- Capacidade de retenção de poeiras.

O poder de retenção médio (Arrestance -  $A_m$ ) determina-se com o auxílio de um pó específico, composto de [15]:

- 72% de sílica
- 23% de negro de fumo (fuligem)
- 5% de algodão

Para um período de observação determinado, a capacidade de retenção pode igualmente calcular-se a partir da equação [15]:

$$R = 100 \left[ 1 - \frac{W_2}{W_1} \right] \text{ em } \% \quad (5.3) [15]$$

Sendo:  $W_2$  – massa de partículas sintéticas captadas pela proveta.

$W_1$  – massa de partículas sintéticas incidentes.

As massas são determinadas por pesagem. O poder de retenção, calculado através deste método, é denominado por poder de retenção gravimétrico (Método Gravimétrico). Enquanto que, o Método Opacimétrico utiliza-se para a determinação da eficácia de um filtro em relação ao ar poluído no estado natural.

Neste contexto, o poder de retenção representa um rendimento em massa, enquanto que a eficácia representa um rendimento em volume, no teste opacimétrico. Neste, a eficácia é dada pela expressão:

$$E = 100 \left[ 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{O_2}{O_1} \right] \quad (5.4) [28]$$

Sendo:  $Q_1$  - Caudal do ar total a montante

$Q_2$  - Caudal do ar total a jusante

$O_1$  - Opacidade a montante

$O_2$  - Opacidade a jusante

Os diferentes métodos de ensaios dos filtros de ar, normalizados pela AFNOR ou recomendados pela EUROVENT, encontram-se indicados no Anexo B [28].

No documento Eurovent 4/5, os filtros de ar encontram-se repartidos em 9 classes, quadro 6.3, incluindo a comparação com a standardização da divisão da qualidade das classes da StF [29].

No caso dos filtros com Eficácia média ( $E_m$ ) inferior a 40%, a sua classificação efectua-se com base no seu poder, ou capacidade, de retenção [15].

No caso dos filtros com poder de retenção superior a 90%, a sua classificação efectua-se somente na base da eficácia, formado no poder de retenção superior a 90% [15].

Não é ainda possível definir uma relação entre o poder de retenção e a eficácia [15].

Quadro 6.3 – Classificação da eficácia dos filtros a ar, da ventilação em geral – Eurovent 4/5.

Limites das Classes de Filtros – DIN 24 185 – parte 2					Qualidade de Classe com base na StF (1)	
Classe de Filtro	Retenção Gravimétrica média $A_m$ (%) (2)	Eficácia Opacimétrica média $E_m$ (%) (3)	Corresponde EN 779 NF X 44-012	Filtros	Qualidade Classe	Descrição
EU1	$A_m < 65$		G1	Grossos ( G )	A	Filtro de Poeiras Grossas
EU2	$65 \leq A_m < 80$		G2			
EU3	$80 \leq A_m < 90$		G3		B	Filtro de Poeiras Finas
EU4	$90 \leq A_m$		G4			
EU5		$40 \leq E_m < 60$	F5	Finos ( F )	C	Filtro de Alta Eficiência de Poeiras Finas
EU6		$60 \leq E_m < 80$	F6			
EU7		$80 \leq E_m < 90$	F7			
EU8		$90 \leq E_m < 95$	F8			
EU9		$95 \leq E_m$	F9			

Notas:

(1) - Classificação dentro da qualidade de classes baseada no “Guidelines for method of testing air filters used in general ventilation” published by the Dust Research Institute of the General Federation of Industrial Trades Associations (Reg. Soc.) in Bonn. De acordo com a classificação DIN 24185 [29].

(2) - No teste Gravimétrico, a retenção média ponderada é calculada a partir dos valores encontrados em diferentes etapas da colmagem até uma perda de carga final de 250 Pa [30].  
A operação é realizada num filtro novo, e depois em fases diferentes de colmatagem, utilizando um procedimento de colmatagem acelerado (concentrações por peso 700 vezes superiores às concentrações atmosféricas, cuja composição do pó do teste não representa o aerossol presente na atmosfera) [30].  
O valor da retenção apresentado é superior à retenção inicial encontrada com um filtro novo [30].

(3) - No teste Opacimétrico, a eficácia média ponderada é calculada a partir dos valores encontrados em diferentes etapas da colmatagem até uma perda de carga final de 450 Pa [30].  
A operação é realizada num filtro novo, e depois em fases diferentes de colmatagem, utilizando um procedimento de colmatagem acelerado (concentrações por peso 700 vezes superiores às concentrações atmosféricas, cuja composição do pó do teste não representa o aerossol presente na atmosfera) [30].  
O valor da retenção apresentado é superior à retenção inicial encontrada com um filtro novo [30].

Relativamente aos filtros absolutos ou de muito alta eficiência, também, designados de Hepa e Ulpas, incluídos nas classes EU 1 a EU 17 da CEN (European Committee for Standardization) [30], não podem ser testados de acordo com a DIN 24 184. Estes são testados de acordo com a Norma EN 1822 parte 4 [29]. O procedimento, deste novo teste, consiste no método de contagem de partículas, utilizando aerossóis líquidos com diferentes tamanhos de partículas, com ênfase para as partículas de dimensão mais penetrante, compreendidas entre 0,1 e 0,2  $\mu\text{m}$ , designado por MPPS (Most Penetrating Particle size) [30].



Para o efeito, todo o painel filtrante é percorrido por uma sonda de leitura na detecção de fendas, que permitam a passagem de partículas  $\geq 0,3 \mu\text{m}$  no método fotométrico e de partículas  $\geq 0,1 \mu\text{m}$  no método fluorimétrico.

Quadro 6.4 – Classificação dos filtros de ar a muito alta eficácia – Eurovent 4/4.

Designação	Classe Filtro	Eficácia média $\bar{E}$ (%)	Corresponde  EN 1822  NF X 44-014		Eficácia Inicial $\geq 0,3 \mu\text{m}$ (1)	Penetração Inicial (1)	Coeficiente de Depuração DF (1)
		MPPS			Ei (%) inicial	Pi (%) inicial	
		$\bar{E} \% \geq 0,3 \mu\text{m}$					
Filtros Absolutos ou de Muito Alta Eficácia	EU 10	$\geq 85$	H 10	Filtros Hepa (H)	$95,0 \leq Ei < 99,9$	$5 \geq Pi > 0,1$	$20 \leq DF < 1\ 000$
	EU 11	$\geq 95$	H 11		$99,9 \leq Ei < 99,97$	$0,1 \geq Pi > 0,03$	$1\ 000 \leq DF < 3\ 000$
	EU 12	$\geq 99,5$	H 12		$99,97 \leq Ei < 99,99$	$0,03 \geq Pi > 0,01$	$3\ 000 \leq DF < 10\ 000$
	EU 13	$\geq 99,95$	H 13		$99,99 \leq Ei < 99,999$	$0,01 \geq Pi > 0,001$	$10\ 000 \leq DF < 100\ 000$
	EU 14	$\geq 99,995$	H 14		$99,999 \leq Ei$	$0,001 \geq Pi$	$100\ 000 \leq DF$
		$\bar{E} \% \geq 0,12 \mu\text{m}$		Filtros Ulpa (U)			
		$\geq 99,9995$	U 15				
		$\geq 99,99995$	U 16				
		$\geq 99,999995$	U 17				

Nota:

(1) - De acordo com o método de medida descrito no documento EUROVENT 4/4 “Método de Ensaio de Filtros por Fotometria de clarão com Aerossol de Cloreto de Sódio produzido por Atomizador tipo Collison” [28].

O poder de retenção e eficácia são grandezas que dependem exclusivamente do meio filtrante, sendo a capacidade de retenção influenciada não somente pelo meio filtrante, mas igualmente pela superfície de filtração disponível. Quanto à perda de carga do filtro, esta é função, para um caudal dado, da superfície de filtração, da disposição geométrica dos meios filtrantes e enfim da quantidade de poeira já retida e acumulada no filtro.

### 6.5.2 Perdas de Carga, Duração e Colmatagem dos Filtros

No estado virgem, a perda de carga nos diferentes tipos de filtros é aproximadamente a seguinte [15]:

- Filtros de poeiras ordinárias: 30 a 50 Pa;
- Filtros de poeiras finas: 50 a 150 Pa;
- Filtros de poeiras ultra-finas ou filtros absolutos: 100 a 250 Pa.

Por conseguinte, a quantidade de poeiras, sempre mais elevada a captar pelo filtro, implica que a perda de carga aumente com o quadrado no caso dos filtros de poeiras ordinárias e linearmente no caso dos filtros para poeiras ultra-finas [15].

As perdas de cargas máximas que a instalação pode suportar e que são recomendadas a não serem ultrapassadas, são as seguintes [15]:

- Filtros de poeiras ordinárias: 200 a 300 Pa;
- Filtros de poeiras finas: 300 a 500 Pa;
- Filtros de poeiras ultra-finas ou filtros absolutos: 1000 a 1500 Pa.

A evolução da perda de carga de um filtro no tempo deixa ao projectista uma certa latitude quanto à concepção da solução. Partindo do caudal nominal, os filtros – sobretudo os filtros de poeiras ordinárias e os filtros de poeiras finas – podem ser mais ou menos colmatados, o que conduz no primeiro caso a se prolongar a sua duração de serviço até que se obtenha a perda de carga máxima admissível e no segundo caso a reduzir a potência do ventilador devido a uma diminuição do investimento. Mas, em qualquer dos casos, deve-se estabelecer um balanço preciso, tendo em consideração o custo do investimento, o custo da energia e o custo de substituição dos meios filtrantes [15].

Quando um filtro assegura a depuração do ar atmosférico (exterior), normalmente poluído, e que funciona a caudal nominal 8 horas por dia, a duração de utilização média, até que se atinja a perda de carga máxima admissível, é aproximadamente a seguinte [15]:

- Filtro de poeiras ordinárias: 3 a 6 meses;
- Filtro de poeiras finas (com pré-filtro a poeiras ordinárias): 6 a 9 meses;
- Filtro de poeiras ultra-finas ou filtros absolutos (com pré-filtro a poeiras ordinárias e finas): até 12 meses.

### **6.5.3 Diferentes Tipos de Filtros**

O número de filtros, que se encontram no mercado, é muito elevado do ponto de vista da diversidade.

Para uma familiarização com os principais filtros, tanto do ponto de vista do material de construção, como de utilização, classe e funcionamento, podem-se classificar os diferentes filtros de ar da forma seguinte [15]:

- Quanto ao material:
  - Filtros metálicos;
  - Filtros de fibras;
  - Filtros de carvão activado;
  - Filtros em banho de óleo;
  - Filtros de fibras elásticas.
- Quanto à instalação:
  - Filtros verticais;
  - Filtros de conduta;
  - Filtros murais;
  - Filtros de tecto.
- Quanto à utilização:
  - Filtros não regeneráveis (a substituir);
  - Filtros regeneráveis (permanentes).
- Quanto ao tamanho das poeiras filtradas:
  - Filtros de poeiras ordinárias;
  - Filtros de poeiras finas;
  - Filtros de poeiras ultra-finas (filtros absolutos);
- Quanto ao modo de funcionamento:
  - Filtros fixos;
  - Filtros de desenrolamento;
  - Electro-filtros;
  - Filtros automáticos.

- Quanto ao tipo de construção:
  - Filtros inclinados;
  - Filtros redondos;
  - Filtros de tambor;
  - Filtros de desenrolamento automático;
  - Filtros de sacos.

#### **6.5.3.1 Filtros Metálicos**

São filtros que dispõem de células ou placas metálicas, típicos das classes G1 e G2. Normalmente o meio filtrante é formado por um conjunto de malhas metálicas onduladas, cruzadas e descentralizadas dentro de uma moldura metálica. A construção pode ser em aço galvanizado ou inoxidável. São filtros regeneráveis e muito aplicados na captação de fumos de gorduras, integrados em cúpulas (hottes), dos sistemas de exaustão das cozinhas [31].

A limpeza do filtro faz-se por imersão num banho de água quente com soda ou banho detergente.

O inconveniente, destes filtros metálicos, advém do facto da sua limpeza ser uma operação fastidiosa e nunca completa.

#### **6.5.3.2 Filtros de Fibras**

O meio filtrante deste tipo de filtros, onde existem numerosos modelos, é realizado através de um emaranhado de fibras de diferentes naturezas: lã de vidro, sintéticas, naturais, etc. [15].

Os diferentes modelos de filtros com fibras, disponíveis no mercado, são concebidos em função da sua previsível aplicação, mas devem sempre corresponder a duas exigências: durabilidade elevada e baixa perda de carga. Para conciliar estes critérios prevê-se a maior superfície possível de filtragem numa mesma moldura [15].

É mais espesso e de menor perda de carga o emaranhado de fibras, nos filtros destinados a poeiras ordinárias ou a poeiras finas, que nos filtros destinados a poeiras ultra-finas ou filtros absolutos [15].

Estes filtros podem ser constituídos por uma manta de fibra de vidro plana, por vezes impregnada com um aglutinante de pó, para aumentar a sua capacidade retenção, sendo aplicados em carga de trabalho reduzido.

Nas unidades de tratamento do ar, dos sistemas de AVAC, são normalmente utilizados filtros ondulados em manta sintética de alta qualidade, inseridos numa moldura em aço galvanizado, inoxidável ou alumínio, típicos da classe G3 e G4, como pré-filtros dos filtros de mais elevada eficácia.

Outros tipos de filtros, muito aplicados, são os de bolsas, também, designados por filtros de sacos, a saber:

- Filtro típico da classe G4, em manta sintética, de construção robusta, com alta capacidade de acumulação de pó e uma longa vida operativa. Ideal para condições de trabalho duras e normalmente aplicado como pré-filtro [31];
- Filtros típicos da classe F5 e F6, em fibra sintética, adequado para condições operativas difíceis, oferecendo uma excelente resistência ao desgaste e aptos para usos com alto grau de humidade [31];

Os filtros, qualquer que seja a sua classe, comportam em quase todos os casos uma manta em fibras sintéticas ou em fibra de vidro. A relação entre a superfície filtrante e a superfície frontal está compreendida entre 20 e 25. A velocidade de passagem do ar deve ser aproximadamente  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$  em relação à superfície frontal e  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$  em relação à superfície filtrante. Os filtros de sacos não são regeneráveis, mas a sua durabilidade de serviço é elevada [15].

#### **6.5.3.3 Filtros Compactos**

É um filtro feito de materiais resistentes à corrosão, constituído por elementos em papel de fibra de vidro, com separadores termoplásticos, colocados numa armação de poliestireno, típico da classe F7 a F9 [31].

#### **6.5.3.4 Filtros Absolutos**

Sempre que se deseje um poder de retenção muito elevado utilizam-se filtros absolutos com muita alta eficácia, também designadas de filtros Hepa ou Ulpa, capazes de reter partículas ínfimas em suspensão, em particular as bactérias, os vírus, etc. Estes constituem o último elemento numa cadeia de filtragem quando o filtro de poeiras ultra-finas não é suficiente,

aplicando-se nas salas limpas da indústria farmacêutica, de cirurgia, micro electrónica e alimentar.

O meio filtrante deste tipo de filtros, com alguns modelos diferentes, é realizado normalmente em papel de fibra de vidro, inserido numa armação em madeira, aço ou alumínio.

A velocidade de passagem do ar deve ser baixa, não superior a  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Estes filtros não são regeneráveis.

O estancamento do filtro na sua estrutura deve ser total.

É absolutamente necessário prever, antes destes filtros, pré-filtros para reter poeiras ordinárias e finas.

Estes filtros devem ser instalados no local (filtros terminais), servindo de difusores do ar tratado no espaço a climatizar. O sistema de integração dos filtros absolutos deve garantir um estancamento perfeito e permitir efectuarem-se controlos da perda de carga no local.

#### **6.5.3.5 Filtros de Carvão Activado**

Os filtros de carvão activado são utilizados na eliminação, por absorção, de impurezas indesejáveis e que se encontram no ar sob a forma de gases ou vapores. Entre estas impurezas é necessário mencionar, os odores provenientes das cozinhas, os gases ou vapores libertados nos diferentes processos industriais, assim como gases radioactivos, etc. A eficácia do carvão activado consiste, consoante o seu estado e função da poluição, num processo de absorção física e/ou química [15].

Um filtro de carvão activado contém matéria absorvente de carvão, mas por vezes, também, madeira ou casca de nós de coco [15].

O absorvente, em bruto, sofre um tratamento particular, que permite obter um material com elevado número de poros, cujo diâmetro está compreendido entre 1 nm (nano metro,  $10^{-9}$ ) e 1 micro ( $10^{-6}$ ), e cuja superfície é extremamente elevada, podendo absorver as moléculas a eliminar [15].

Com a finalidade do fenómeno de absorção se desenvolver optimamente é necessário que, o carvão activado, o fenómeno de absorção e a substância a captar, sejam perfeitamente compatíveis. Certos gases, como  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ , não podem ser absorvidos pelo carvão activado,

devido ao facto de estes estarem continuamente presentes e o carvão activado conter estas moléculas [15].

O fenómeno de absorção é tal que não é possível traçar a curva representativa da evolução da concentração [15].

Para poder ser utilizado em instalações de ventilação, o carvão activado é comercializado em células ou cartuchos. Este serve para a purificação do ar exterior (novo), quando a atmosfera é muito poluída, ou no ar de expulsão, contendo vapores ou gases perigosos [15].

Para substâncias odorantes com fraca concentração, as placas de carvão activado são dispostas em diedro nos filtros de células ou filtros de condutas, permitindo obter grandes superfícies de filtragem para pequenas superfícies frontais. A duração do contacto é de 0,08 a 0,1s. Não é possível realizar um estancamento perfeito. Os filtros são do tipo não regenerável [15].

Para uma eliminação de odores muito activos é necessário utilizar cartuchos de carvão activado, fixos a uma estrutura suporte e assegurar um estancamento total dos gases. Em todos os casos os pré-filtros são necessários, de forma a não diminuir a eficácia do carvão activado na retenção de poeiras [15].

A duração de utilização de um filtro é de aproximadamente um ano [15].

A espessura da camada desodorizante é função dos vapores a absorver.

A temperatura máxima de utilização é de 35 a 40° C, acima do qual a eficiência diminui rapidamente.

A velocidade de passagem do ar, em relação à superfície frontal, deve ser de 1 a 3 m.s<sup>-1</sup>. A massa volumica de 0,45 a 0,52 g.cm<sup>-3</sup>. A perda de carga correspondente é de 10 a 100 Pa [15].

#### **6.5.3.6 Filtros Eléctricos**

Denominados, também, por electrofiltros [15].

Estes, possuem uma zona de ionizado, constituída por fios de tungsténio carregados positivamente, no qual as partículas de poeiras contidas no ar se carregam de electricidade, por fixação dos iões, e uma zona de precipitação constituída por um condensador com placas em

alumínio, mais ou menos carregadas alternadamente. As partículas, previamente ionizadas positivamente, são atraídas na sua passagem pelo campo eléctrico da zona de precipitação, pelas placas carregadas negativamente, assegurando a sua separação. As placas são, por vezes, impregnadas de um produto aglutinante de poeiras, não mineral e solúvel na água. A limpeza faz-se por projecção de água à temperatura de 30 a 40° C. Atenção ao problema das águas a usar, delicadas de evacuar. É possível, também, prever um dispositivo automático de lavagem por pulverização de óleo e água [15].

O grau de retenção é elevado, mesmo para partículas de poeiras inferiores a 0,1  $\mu\text{m}$  (fumos de tabaco, bactérias, outras). O limite superior é de aproximadamente 40  $\mu\text{m}$ . A perda de carga é pequena, entre 40 a 60 Pa, restando constante. Contudo, é necessário dispor de uma instalação eléctrica, com uma tensão elevada, entre 12 e 16 kV na zona de ionizado e de 6 e 8 kV na de precipitação. O consumo de corrente, de uma célula standard, situa-se entre 2 e 5 mA para uma potência absorvida de 24 a 80 W. Consoante o poder de retenção desejado, a velocidade do ar na superfície frontal deve situar-se entre 1 e 3  $\text{m.s}^{-1}$ . Uma velocidade de 2  $\text{m.s}^{-1}$  é normal, para uma eficiência de 90% (Eurovent 4/5) [15].

O principal inconveniente destes filtros é o seu elevado preço, podendo ser rentáveis quando se trata de filtrar grandes caudais de ar com elevada concentração de poeiras. Apresentam a vantagem de ter baixos custos de exploração e reduzidas perdas de carga [15].

Nestes filtros, a produção de ozono é pequena, na ordem de 15  $\mu\text{g.m}^{-3}$  [15].

Pode ser interessante combinar um filtro eléctrico com um filtro de desenrolamento automático a montante e/ou necessidade de outro a jusante [15].

Os electrofiltros são, também, utilizados em aplicações especiais, como por exemplo, na captação de névoa de óleo e por vezes na purificação do ar captado de certos locais [15].

Os filtros **electrostáticos** constituem um modelo particular do electrofiltro, diferenciando-se devido ao facto de não possuírem zona de ionizado. O meio filtrante não é constituído por placas, mas realizado a partir de matérias fibrosas, submetidas a um tratamento especial, com a finalidade de apresentarem dipolos eléctricos ou que estão impregnadas dum campo electrostático. Em função da tensão prevista e consoante a estrutura do meio filtrante, com ou sem campo eléctrico, podem-se obter valores de retenção respectivamente de 15% a 90% [15].



### 6.5.3.7 Filtros Automáticos

Filtro automático é aquele cujo meio filtrante ou película filtrante é renovada, ou seja, regenerada em permanência ou em intervalos regulares.

Existem filtros automáticos não regeneráveis e filtros automáticos regeneráveis.

No filtro automático não regenerável, a película filtrante, quase sempre em fibra, é desenrolada num primeiro rolo e movimenta-se perpendicularmente ao fluxo de ar, enrolando-se num segundo rolo actuado por motor eléctrico.

O dispositivo de desenrolamento automático é accionado, regra geral, por um manómetro de contacto, no qual actua o motor eléctrico, quando a perda de carga máxima atinge o valor máximo de registo. O desenrolamento é interrompido quando se verifica uma perda de carga mínima estabelecida. Existem outros dispositivos de regulação, como por exemplo, através de relógio. Portanto, independentemente da perda de carga, o rolo de desenrolamento é activado em intervalos regulares. Os filtros funcionam com perda de carga praticamente constante, mas a distribuição do ar na sua superfície varia em função da altura. Na parte superior a velocidade é mais elevada, em relação à inferior, devido ao facto do desenrolamento se fazer de cima para baixo. A parte superior apresenta uma colmatagem mínima e a inferior máxima, pois esteve mais tempo exposta à passagem do ar a filtrar [15].

O poder de retenção é função do material filtrante e varia entre 80% a 90%. A velocidade média de passagem do ar é aproximadamente 2 a 3 m.s<sup>-1</sup> e a perda de carga média de 120 a 180 Pa [15].

A sua automatização necessita de muita pouca manutenção, podendo ser incluídos numa conduta de ar ou em qualquer unidade. Contudo, não são convenientes em sistemas a volume de ar variável, o poder de retenção diminui quando a velocidade frontal é baixa [15].

O inconveniente destes filtros provém da repartição não uniforme da velocidade, bem como não são protegidos contra a acção dos insectos.

Os filtros automáticos a humectação regeneráveis não funcionam como os precedentes, com uma manta longa fina, mas, ao contrário, com uma manta composta de células ou placas, que se podem considerar sem fim, devido ao facto destas, após serem limpas, serem novamente expostas à filtragem do ar. A limpeza efectua-se num recipiente com óleo, onde este é agitado para assegurar o processo de lavagem. As poeiras retiradas acumulam-se no fundo do recipiente

e em seguida são eliminadas por decantação das lamas. O óleo pode ser reenviado para o recipiente. Certos modelos de filtros são equipados dum purgador manual de lamas, necessitando não só de uma intervenção, mas igualmente de um complemento de óleo, enquanto que os outros funcionam em circuito fechado com auto-limpeza do óleo [15].

A perda de carga do filtro é praticamente constante. Quanto à repartição das velocidades, esta é praticamente uniforme devido ao facto do ar se escoar através de duas películas, cuja soma das perdas de carga unitária é praticamente idêntica [15].

Estes filtros têm um poder de retenção de 70% a 80% [15].

Os filtros de desenrolamento automático de tambor são uma variante dos precedentes, mas em vez de se desenrolarem planos o filtro continua enrolado num tambor. Consoante a manta filtrante utilizada, o filtro pode ser do tipo seco ou humedecido e funcionar em regeneração (filtro infinito ou não, filtro finito) [15].

Estes filtros são utilizados na indústria, designadamente têxtil.

#### **6.5.3.8 Filtros Multietapas**

Dizem respeito à combinação dos diferentes modelos de filtros, já descritos, dispostos de forma a que se obtenha óptimo poder de retenção, boa capacidade de acumulação e durabilidade longa.

As possibilidades de combinação são na prática muito variáveis, mas mencionem-se alguns exemplos [15]:

- Unidades de ventilação e de climatização correntes, combinando-se filtros de poeiras ordinária com filtros de poeiras finas;
- Unidades de ventilação e de climatização garantindo um grau de pureza do ar particular (salas limpas), combinando-se filtros de poeiras ordinárias, com filtros de poeiras finas e filtro de poeiras ultra-finas. Estes últimos, filtros absolutos, devem ser instalados directamente no elemento difusor do ar, no local;
- Unidades de ventilação e de climatização para aeroportos, combinando-se filtros de poeiras ordinários com filtros de poeiras finas e filtros de carvão activado. A secção de filtragem de poeiras finas é muitas vezes constituído de um electrofiltro ou um filtro de fibras (filtro de

sacos ou filtro de desenrolamento automático, não regenerável). A secção de filtragem com carvão activado serve para a eliminação dos gases e dos odores provenientes dos reactores dos aviões;

- Centrais de ventilação (insuflação e extracção) de centrais nucleares. O ar insuflado passa nos filtros de poeiras ordinárias e de poeiras finas, bem como o ar captado e proveniente de zonas contaminadas atravessa primeiro um filtro absoluto impregnado de carvão activado, especial, e posteriormente um segundo filtro igualmente absoluto. Esta combinação permite ter a certeza de que o ar rejeitado, numa central nuclear, seja tão puro quanto o ar insuflado, tanto do ponto de vista de número de partículas como de radioactividade (a radioactividade natural é aproximadamente 100 vezes mais importante que a do ar proveniente duma central nuclear funcionando normalmente).

## 6.6 Lavadores

São designados por lavadores, ou humidificadores de pulverização, os equipamentos em que o ar está em contacto directo com a água, havendo permuta de calor e transferência de massa [15].

Consoante a temperatura da água é possível obter diversas modificações de estado, sendo a mais comum a humificação e o arrefecimento.

A denominação de lavadores pode prestar-se a confusão, uma vez que a lavagem do ar no sentido da purificação, como o seu nome indica, compreende apenas a retenção de poeiras ordinárias e alguns gases como o  $\text{SO}_2$  [15].

Existem duas principais categorias de lavadores:

- Com pulverização por pressão de água;
- De superfície.

Nos lavadores com pulverização de água, esta é pulverizada por meio de injectores, produzindo uma névoa densa de gotículas atravessadas por uma corrente do ar, normalmente à velocidade de 2 a 3  $\text{m.s}^{-1}$ . A câmara de pulverização compreende um reservatório e uma caixa, normalmente em chapa de aço, ou em material plástico, bem como uma rampa de pulverização e uma electrobomba [15].

A pulverização da água a partir de injectores em latão, material plástico ou em aço especial faz-se no sentido da corrente do ar ou em contracorrente (contra fluxo).

Ao pretender-se que a transferência de massa seja importante (humidificação adiabática) prevêem-se pequenas relações de água/ar, caso se privilegie o funcionamento em arrefecimento aumenta-se a relação água/ar. Por forma a que o ar não arraste as partículas de água é introduzido um separador de gotas à saída do lavador. Este é constituído por chapas em chicana com bordos salientes e que aparam as partículas de água, contidas no ar, por efeito de choque [15].

Por vezes também se instala a montante do lavador um separador de gotas (equilibrador da corrente do ar) para impedir projecções de partículas no exterior, quando a corrente de ar não é uniforme.

Se o lavador serve de bateria de arrefecimento do tipo húmido, os injectores são alimentados a água potável fria ou a água refrigerada artificialmente. No caso do lavador funcionar em humidificação adiabática, pode-se utilizar água em circuito fechado [15].

A electrobomba aspira a água do reservatório e envia-a aos injectores pelas rampas de pulverização.

É necessário instalar na aspiração um filtro eficaz, para retenção das impurezas da água, pois os injectores são muito sensíveis às impurezas e colmatam-se facilmente.

Do ponto de vista de higiene é necessário pensar na possível transmissão de germes, a água do reservatório é um lugar privilegiado de multiplicação dos microrganismos. Valores medidos registaram 10.000....50.000 germes por ml. É portanto muito importante lavar e desinfectar regularmente o lavador [15].

A perda de carga num lavador depende do caudal de água pulverizada, da velocidade do ar e principalmente do separador de gotas, sendo aproximadamente de 100 a 200 Pa para uma velocidade do ar de 2,5 a 3,5m.s<sup>-1</sup> [15].

Nas instalações de climatização, a humidificação do ar deve fazer-se preferencialmente através de um humidificador de pulverização em vez de um humidificador a vapor, por razões de consumo de energia, embora não seja corrente esta prática.

No lavador de superfície o ar, a humidificar, é posto em contacto com um material húmido. A superfície de contacto contém um empilhamento de elementos dispostos em camadas horizontais, verticais ou inclinadas, sobre os quais escorre água de cima para baixo. Mesmo para baixas pressões, os injectores de esferas asseguram uma corrente muito uniforme sobre as superfícies. O ar atravessa o lavador à velocidade de 0,5 a 1m.s<sup>-1</sup>. Como no caso dos lavadores de pulverização, é necessário decantar regularmente a água quando ela circula em circuito fechado, senão as superfícies molhadas rapidamente se cobrem de calcário [15].

É um sistema interessante pelo baixo consumo de água (relação de massas água/ar aproximadamente 0,05), para pressões de 0,2 a 0,5bar, e mínimo consumo de energia da electrobomba [15].

As partículas de água, ricas em calcário, não são arrastadas.

Existem vários modelos com superfícies de contacto verticais constituídas por fibras de vidro, chapas de alumínio higroscópico ou de material sintético sobre as quais a água escorre de cima para baixo. Não é necessário prever separador de gotas e o rendimento é de 85 a 90% para uma velocidade do ar de 2,5m.s<sup>-1</sup> em relação à superfície de contacto. O volume de água em circulação é igual a 5 a 10 vezes às necessidades. A espessura deste tipo de lavadores é reduzida e reage imediatamente ao arranque ou paragem da instalação. A pressão da electrobomba é pequena (aproximadamente 0,5 bar). Para uma boa conservação da superfície de contacto recomenda-se a instalação de um filtro de poeiras ordinárias a montante do lavador [15].

Ao nível dos **inconvenientes** é necessário citar [15]:

- O atravancamento considerável dos humidificadores com pulverização, larguras de 1,5 a 3m;
- O aumento do teor em sais da água;
- O aparecimento possível de bactérias, algas e odores;
- A necessidade de um tratamento da água, individual, com eventual adição por dosagem dum produto desinfectante;
- Importante necessidade de manutenção meticulosa.

Como **vantagens**, tem-se [15]:

- Baixo custo no arrefecimento por evaporação;
- No caso de sistemas com recuperação de calor, a humidificação consome menos energia que a humidificação a vapor.

## 6.7 Recuperadores de Calor

As instalações de AVAC necessitam de importantes quantidades de energia térmica, designadamente no tratamento do ar exterior introduzido nos sistemas, para compensar as extracções do ar interior viciado. Para reduzir o correspondente consumo, é possível recuperar o calor contido no ar de expulsão aplicando, para o efeito, diferentes processos de recuperação de energia, que se apresentam no quadro 6.5 [26].

Todos os processos de recuperação de calor permitem economizar energia, mas necessitam de custos de investimento, mais ou menos relevantes, sendo necessário efectuar um cálculo da rentabilidade económica para cada caso.

A recuperação de calor pode ser sensível, latente, ou simultaneamente as duas.

Sempre que os caudais do ar sejam iguais pode-se definir as diferentes eficiências, a saber [15]:

- Eficiência da temperatura (só calor sensível)

$$\Phi = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

$t_1$  - Temperatura seca do ar exterior à entrada do recuperador, em °C.  
 $t_2$  - Temperatura seca do ar exterior à saída do recuperador, em °C.  
 $t_3$  - Temperatura seca do ar de expulsão à entrada do recuperador, em °C.

- Eficiência da humidade absoluta (só calor latente)

$$\Psi = \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1}$$

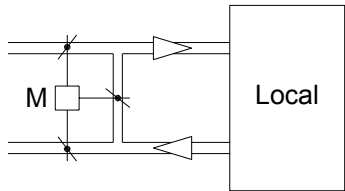
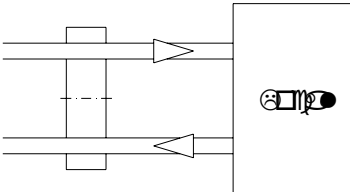
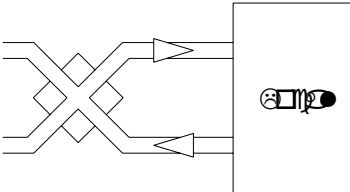
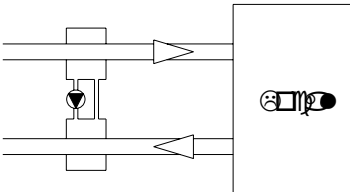
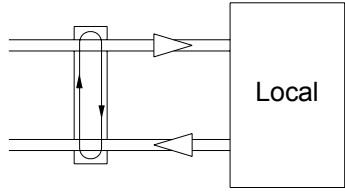
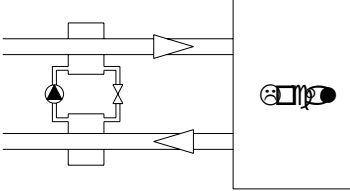
$x_1$  - Humidade absoluta do ar exterior à entrada do recuperador, em g/kg.  
 $x_2$  - Humidade absoluta do ar exterior à saída do recuperador, em g/kg.  
 $x_3$  - Humidade absoluta do ar de expulsão à entrada do recuperador, em g/kg.

- Eficiência de entalpia (calor sensível e calor latente)

$$\Lambda = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1}$$

$h_1$  - Entalpia do ar exterior à entrada do recuperador, em kJ/kg.  
 $h_2$  - Entalpia do ar exterior à saída do recuperador, em kJ/kg.  
 $h_3$  - Entalpia do ar de expulsão à entrada do recuperador, em kJ/kg.

Quadro 6.5 – Processos de recuperação do calor do ar de extracção.

Esquema de Princípio	Descrição	Vantagens
<p>Ar reciclado</p> 	<p>O ar de extracção de um local é reciclado inteiramente ou parcialmente.</p>	<p>Utilização completa da entálpia do ar.</p> <p>Custo de investimento reduzido.</p>
<p>Recuperador de calor rotativo</p> 	<p>Uma roda transfere o calor do ar de extracção para o ar novo.</p>	<p>Eficácia elevada de temperatura.</p> <p>Possibilidade de recuperação de humidade.</p>
<p>Recuperador de calor de placas</p> 	<p>Permuta de calor transportado pelo ar sem fluido intermediário.</p>	<p>Sem peças móveis e de funcionamento seguro.</p>
<p>Recuperador de calor com circulação de água glicolada</p> 	<p>O calor é recuperado fazendo circular água glicolada através de baterias montadas nos fluxos de ar de extracção e novo.</p>	<p>As baterias podem ser instaladas independentemente umas das outras.</p> <p>Facilidade de instalação nos sistemas existentes.</p>
<p>Recuperador de calor do tipo caloduc</p> 	<p>Baterias com tubos alhetados verticais ou horizontais em material poroso, contendo um fluido refrigerante.</p>	<p>Sem peças móveis e de funcionamento seguro.</p>
<p>Bomba de calor</p> 	<p>Sistema com compressor frigorífico onde o calor do condensador é utilizado para o aquecimento do ar novo.</p>	<p>Factor de eficácia calorífica superior a 1.</p> <p>O ar exterior frio pode ser utilizado como fonte de calor.</p> <p>Possibilidade de arrefecimento no Verão.</p>

Dos processos apresentados os que mais se aplicam nos sistemas de climatização são:

- O controlo da entalpia;
- O recuperador de calor rotativo;
- O recuperador de calor de placas.

No processo designado por controlo da entalpia do ar exterior, os equipamentos utilizados são três registos motorizados. Estes, controlam as quantidades do ar exterior, de expulsão e consequentemente da mistura nos sistemas de climatização.

Nas situações extremas, estações de Verão e de Inverno, com temperaturas do ar exterior muito elevadas ou baixas, a quantidade de ar novo introduzida no sistema de climatização é a mínima estabelecida para a renovação do ar interior ambiente. Mas, nas estações intermédias e sempre que as condições de temperatura e humidade relativa do ar exterior sejam favoráveis ao estabelecimento das condições interiores pretendidas, os registos do ar novo e de expulsão vão abrindo gradualmente, até ao limite possível de proporcionar o conforto ambiente somente com ar exterior.

Um outro processo de recuperação de energia consiste na aplicação de um permutador de calor rotativo, transferindo esta do ar de extracção para o ar novo.

O equipamento, designado correntemente por roda térmica, utiliza um material acumulador que em rotação lenta (5 a 10 min.<sup>-1</sup>) é sucessivamente atravessado numa direcção por ar rejeitado e na outra por ar exterior. Este é alternadamente atravessado por correntes de ar quente ou frio. É constituído por folhas de alumínio de superfície higroscópica ou não, sobrepostas em camadas cilíndricas de forma ondulada constituindo numerosos canais. O sistema sucessivo de absorção e de desabsorção permite trocas de calor quer sensível, quer latente. Para caudais do ar de expulsão e de admissão próximos a eficiência situa-se entre 70% a 90% e é função da velocidade de rotação e da perda de carga [15].

Para evitar a mistura do ar novo com o ar de expulsão, a roda dispõe de uma sector de limpeza, no qual, o ar de rejeição é impedido pelo ar exterior.

Os caudais de ar destes equipamentos variam entre 1000 e 150 000 m<sup>3</sup>.h, para perdas de carga entre 50 a 350 Pa [15].



Relativamente aos permutadores de calor com fluxos de ar cruzados, do tipo estático, estes são separados uns dos outros por placas, de pequena espessura, em alumínio, material plástico, etc.. A distância entre estas separações, dispostas paralelamente, é muito reduzida. Não há qualquer contacto entre as correntes de ar, nem transferência de calor latente [15].

A perda de carga do ar situa-se entre 100 e 250 Pa [15].

A eficiência de recuperação de calor sensível é aproximadamente de 50% a 60%, para valores de caudais de extracção e admissão próximos [15].

## 6.8 Desumidificadores

No processo de desumidificação existem dois métodos principais para retirar humidade ao ar, a saber [15]:

- Arrefecimento do ar com separação de água;
- Absorção ou adsorção da água por meio de substâncias líquidas ou sólidas.

No primeiro método, o processo de desumidificação do ar verifica-se sempre que existe um arrefecimento suficiente do mesmo, isto é, a temperatura da superfície de permuta (bateria de arrefecimento) situa-se abaixo da temperatura do ponto de orvalho do ar.

No segundo método, o vapor de água contido no ar é absorvido por adsorção a substâncias, como a sílica de gel ou o cloreto de lítio. Estas, são dispostas em camadas de folhas muito finas, formando um rotor constituído por uma rede muito densa de pequenos canais, que, quando atravessados pelo ar, absorvem o seu vapor de água. Este, é libertado no sector de regeneração atravessado por uma corrente de ar quente. Por conseguinte, o rotor de absorção, rodando a uma velocidade muito baixa, aproximadamente  $7 \text{ min}^{-1}$ , é sucessivamente atravessado numa direcção pelo ar a secar (sector de secagem) e na outra pelo ar regenerador (sector de regeneração) [15].

O caudal de ar destes equipamentos pode atingir os  $100\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  [15].

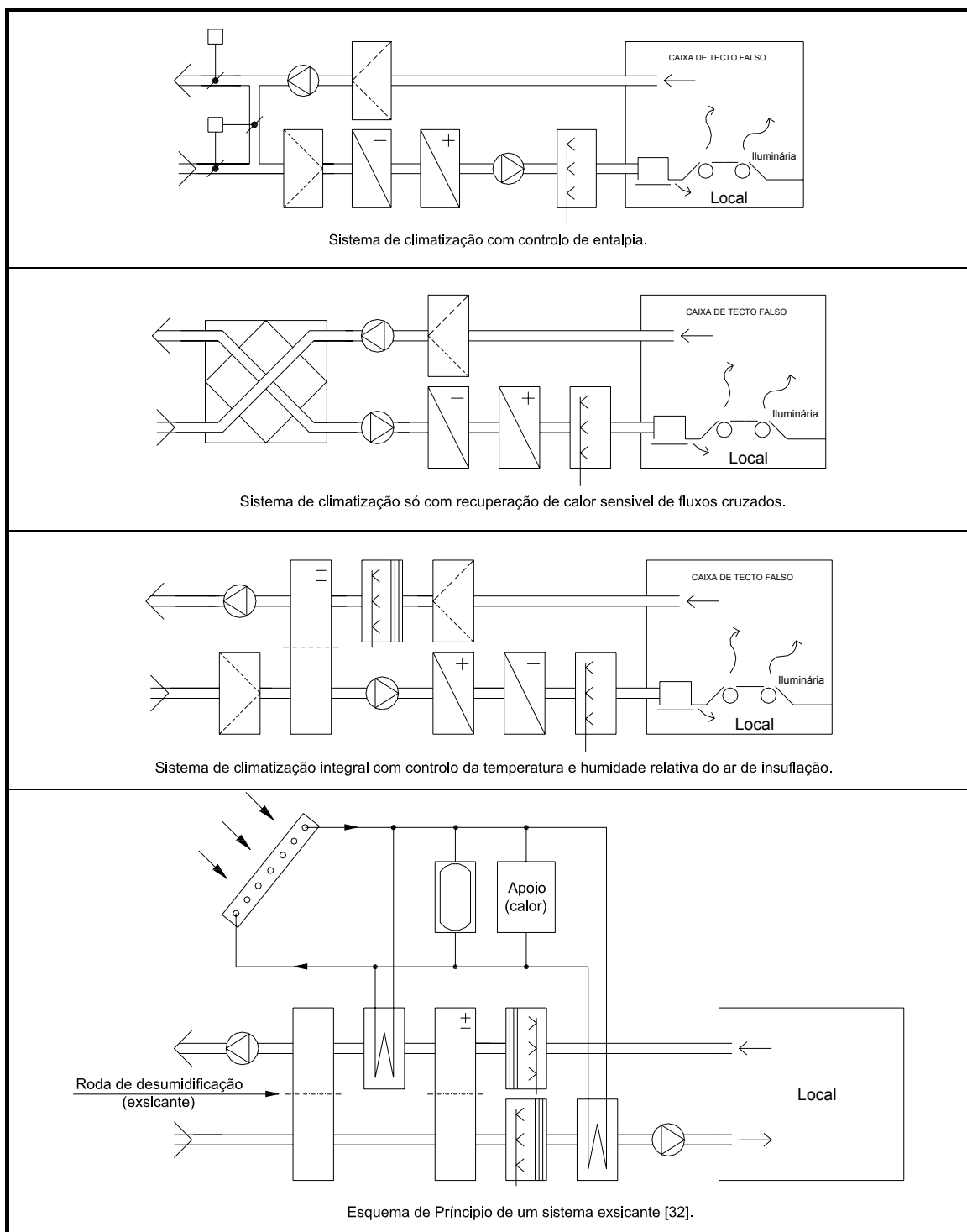
## 6.9 Síntese

Neste capítulo faz-se uma abordagem dos principais equipamentos, constituintes de uma unidade de tratamento do ar interior, e em particular dos filtros, que influenciam a qualidade do ar ambiente, bem como, os de recuperação de calor, que permitem as consequentes reduções de

energia térmica, energia primária e gases com efeito de estufa, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida.

Numa perspectiva futura de aplicação em projectos e na manutenção de melhoramento dos sistemas de AVAC existentes preconizam-se, no quadro 6.6, alguns esquemas de princípio com aplicação dos principais processos de recuperação de energia térmica.

Quadro 6.6 – Esquemas de princípio com aplicação dos principais processos de recuperação de energia térmica.



## Capítulo 7

### QAI das Áreas Limpas da Indústria Farmacêutica

#### Caso de Estudo

#### 7.1 Generalidades

As salas das áreas limpas da indústria farmacêutica requerem uma exigente Qualidade do Ar Interior (QAI), sendo regularmente submetidas a testes de controlo de condição, com quantificação da geração de partículas internas e conhecimento fundamental da sua classificação de acordo com a Norma ISO 14644-1 de 1999-05-01 [33]. Em particular e de menor relevância, também podem ser classificadas de acordo com o grau de esterilidade médica estabelecido nas regras reguladoras dos produtos medicinais da União Europeia EU / GMP [34].

É neste contexto que o presente capítulo expõe, como caso de estudo, o processo de classificação das salas limpas constituintes de uma área de injectáveis de um laboratório farmacêutico existente. Para o efeito, foram realizados ensaios e com os dados recolhidos, classificam-se as salas e faz-se uma análise da instalação numa abordagem da manutenção de melhoramento através do balanceamento da mesma.

## 7.2 Ensaios para Controlo de Condição das Salas Limpas

Os ensaios, a efectuar em cada sala limpa, são os seguintes:

- **Temperatura e Humidade Relativa do Ar Ambiente**

A medição da temperatura e humidade relativa do ar ambiente faz-se através de um termo-higrómetro, figura 7.1, colocado estrategicamente na sala, por forma a ser possível instalar várias sondas em diferentes pontos, figura 7.2, e tendo em consideração o comprimento disponível do cabo acoplado a cada uma delas.

O tempo de duração do ensaio é de 1 hora, com registo dos valores em intervalos de 5 minutos. A sala encontra-se encerrada e é proibido nela entrar.



Fig. 7.1 – Termo-higrómetro com diversos cabos de ligação a sondas.



Fig. 7.2 – Aspecto da cablagem e das várias sondas instaladas.

- **Pressão Relativa da Sala**

Ao manómetro é acoplada uma mangueira de captação de ar, na tomada de pressão positiva do aparelho, para medição da pressão relativa da sala.

Para a medição da pressão da sala, o operador faz passar a mangueira pela frincha existente na porta de acesso, figura 7.3, regra geral na parte inferior, fechando-a e colocando-se com o aparelho na sala adjacente.

Após verificar que não existe esmagamento da mangueira regista o valor da pressão.

Para se medir a pressão, entre dois locais, é indiferente o local onde se coloca o operador, desde que se tenha em atenção a regulação do manómetro, para pressão positiva ou

negativa, bem como a ligação da mangueira à correspondente tomada de pressão do aparelho.



Fig. 7.3 – Operação de registo da pressão relativa da sala.

#### - Caudal do Ar de Insuflação

A medição do caudal do ar de insuflação, em cada difusor, deve ser feita preferencialmente com o Caudalímetro, figura 7.4.

Este aparelho dispõe de uma vasta gama de bocas intermutáveis (envolvente), que se ajustam às dimensões dos difusores de insuflação do ar.

Aplica-se encostando a envolvente ao difusor e memoriza-se a leitura, figura 7.4.



Fig. 7.4 – Operação de registo do caudal de ar insuflado com caudalímetro.



Fig. 7.5 – Anemómetro multifuncional com sondas separadas.



Fig. 7.6 – Anemómetro com cabeça rotativa.

A aplicação de Anemómetros, muito utilizada por instaladores, é menos fiável, principalmente o multifuncional, figura 7.5, que requer maior cuidado de utilização.

A figura 7.6 apresenta um Anemómetro com cabeça rotativa, diâmetro 100 mm, preferível ao anterior.

#### - Contagem de Partículas

A sonda de contagem de partículas é colocada num tripé a 1,2 m do pavimento, Figura 7.7.

O número de pontos de ensaio é estabelecido pela Norma ISO 14644-1, em função da área da sala.

Para a instalação das sondas devem-se escolher pontos da sala com bom senso, não colocando estas em zonas influenciadas pela insuflação do ar ou de quase estagnação.



Fig. 7.7 – Tripé com sonda de contagem de partículas, estrategicamente colocado.

A colocação das sondas sob a influência da insuflação do ar, através dos filtros de muito alta eficiência, permite a obtenção de valores óptimos de contagem de partículas (valores mínimos). No caso de se colocarem numa zona com pouca circulação de ar obtém-se valores péssimos (valores máximos). Situações não recomendáveis.

O aparelho mede e regista as leituras em pés-cúbicos ( $\text{ft}^3$ ), por ser de fabrico Americano, não havendo conhecimento de outros.

O tempo de duração do ensaio é de um minuto por cada ponto, fazendo este três leituras (total três minutos). O aparelho de contagem de partículas só entra em funcionamento um minuto após ter sido accionado pelo operador, permitindo que este saia da sala, feche a porta e se estabilizem as condições no ambiente.

### - Eficiência da Filtragem

O ensaio da capacidade de retenção das partículas nos filtros, de muito alta eficiência (Hepa), instalados na insuflação do ar tratado das salas limpas, consiste em fazer passar por aqueles um aerossol. Este é uma substância líquida, tipo óleo, composto de partículas ínfimas, incolor com cheiro suportável.

Por vezes, designa-se este ensaio por “Teste DOP”, por se ter inicialmente utilizado o aerossol Dioptilftalato, que foi retirado do mercado por se ter diagnosticado ser cancerígeno.

No processo de ensaio utilizam-se dois aparelhos e um gás: o gerador de partículas, o fotómetro e azoto, contido numa garrafa no estado líquido e à pressão máxima de 200 bar.

O gerador de partículas, que não requer qualquer tipo de calibração, é próprio para funcionar com o aerossol estipulado e aquece até à temperatura de 400° C, demorando, para o efeito, aproximadamente 15 minutos. A esta temperatura, o aerossol vaporiza-se e com o auxílio do azoto, contido na garrafa e dotada de um redutor de pressão, é injectado à pressão de 1,5 a 2 bar, na entrada do ar exterior da Unidade de Tratamento do Ar (UTA), figura 7.8, que se encontra localizada na Central Técnica.



Fig. 7.8 – Entrada na UTA do aerossol, vaporizado, com auxílio de azoto.

O operador, que põe em funcionamento este equipamento, informa o colega, via rádio, que se encontra na sala a ensaiar, do início do processo.

O aerossol chega aos filtros terminais, dotados de difusores ou não, através da rede de condutas de insuflação do ar tratado da sala.

Nas salas limpas da indústria farmacêutica, normalmente não há difusores, pelo que, o operador que manuseia a célula fotoelétrica, ligada ao fotómetro, encosta-a ao filtro e percorre cuidadosamente toda a superfície filtrante, medindo a sua permeabilidade (razão entre as intensidades emitidas pelo aerossol a jusante e a montante). Caso a célula detecte excessiva passagem de partículas (mais que as permitidas) é emitido um sinal sonoro. Situação que requer a substituição do filtro.

Nas salas limpas de cirurgia, dos blocos operatórios dos hospitais, regra geral, a insuflação do ar faz-se através de difusores, contendo no seu interior o filtro absoluto (tipo Hepa), nestas circunstâncias, o operador encosta a célula fotoelétrica às ranhuras do difusor, conforme figura 7.9.



Fig. 7.9 – Aspecto da célula fotoelétrica para verificação e indicação da permeabilidade do filtro absoluto.



Fig. 7.10 – Aspecto do fotómetro indicando a percentagem de partículas passantes.

#### - Fumos

O ensaio com fumos tem por finalidade verificar as movimentações do ar no interior da sala e a sua velocidade de dispersão figuras 7.11 e 7.12. Para o efeito, utilizam-se cartuchos que, ao serem inflamados, produzem um fumo, de cor branca com a mesma densidade e temperatura do ar ambiente. Este é inofensivo e não corrosivo.





Fig. 7.11 – Verificação da movimentação do ar insuflado.



Fig. 7.12 – Verificação do fluxo de ar de pressurização da sala.

#### - Substituição de Filtros Absolutos

Quando é requerida a substituição de uma filtro é extremamente importante cuidar da sua junta de calafetação, principalmente na existência de sobreposição daquela nos cantos, figuras 8.13 e 8.14. São os cantos das juntas que se danificam mais facilmente. A aplicação de juntas planas é mais eficiente do que as arredondadas.



Fig. 7.13 – Aplicação de uma junta plana com sobreposição cuidada nos cantos.



Fig. 7.14 – Filtro novo com junta sobreposta no canto.

A pressão a que estão submetidas as juntas conduzem à sua degradação e consequente passagem de ar, com partículas indesejáveis no meio ambiente. A figura 7.15 apresenta o aspecto de uma junta de um filtro usado.



Fig. 7.15 – Aspecto da junta de um filtro usado.



Fig. 7.16 – Aspecto de um filtro novo, à esquerda, e um filtro usado, à direita.

Na figura 7.16 é possível verificar o estado em que se encontra um filtro usado e a sua junta, com dois anos e meio de durabilidade, comparativamente a um filtro novo. Independentemente do aspecto, que o filtro usado apresenta, este ainda se encontra em condições eficazes de operacionalidade. A sua substituição deve-se ao critério estabelecido de uma manutenção preventiva. Refira-se o facto importante da durabilidade de um filtro absoluto depender, significativamente, da pré-filtragem existente. Quanto melhor for o tipo, a qualidade e cuidado da manutenção dos pré-filtros, mais duradouro será o Hepa.

### 7.3 Testes e Classes das Salas Limpas

É com regularidade que as equipas de manutenção, dos laboratórios farmacêuticos, submetem a testes as salas das áreas limpas, para conhecimento e garantia do nível da QAI, destes locais. Para o efeito, recorrem a empresas especializadas, possuidoras de sofisticados equipamentos de medida, para determinação das partículas ínfimas nelas geradas, usando a contagem discreta de partículas através do fotómetro, instrumento de medida por fluorescência, e classificação da limpeza das salas. Aplicando este princípio, num local de teste designado, tem-se conhecimento da concentração das partículas transportadas pelo ar de retorno de igual ou maior dimensão específica, em cada uma das três condições estabelecidas na Norma ISO 14644-1, a saber [33]:

- *Sala Vazia com AVAC em funcionamento.* Esta diz respeito a uma sala após a sua construção (conclusão da obra), quando limpa e sistema de climatização a funcionar, é submetida a contagem de partículas para atribuição da sua classificação;
- *Sala em Repouso com AVAC em funcionamento.* Esta diz respeito a uma sala equipada (provida de todo o equipamento de operação), que após ser limpa e com o sistema de

AVAC em funcionamento, é submetida a contagem de partículas para atribuição da sua classificação;

- *Sala em Operação com AVAC em funcionamento.* Esta diz respeito a uma sala ocupada (operadores do processo), com o equipamento de produção em funcionamento e com o sistema de climatização a funcionar, é submetida a contagem de partículas para a atribuição da sua classificação.

O presente caso de estudo diz respeito à classificação das salas para as condições de repouso e de operação. A primeira condição não se aplica, porque se tratar de um laboratório existente.

Neste caso, como regra geral em todos os outros, os serviços contratados pela manutenção consistem na realização dos testes e execução do tratamento estatístico da concentração de partículas obtida, para um Nível de Confiança Superior a 95%, comparando estes valores com as standardizações estabelecidas na Norma ISO, quadro 7.1, e EU / GMP, quadro 7.2. Elaboração de um relatório com as classificações das salas, incluindo os registos dos caudais do ar de insuflação, das temperaturas e humidades relativas do ar interior e resultados dos testes de fumos, assim como dos valores medidos dos níveis de ruído e da intensidade luminosa.

Para a realização dos testes, a manutenção fornece a planta com a indicação das áreas interiores e o pé-direito (p.d.) de cada uma das salas a testar.

Quadro 7.1 - Selecção da classe de limpeza de partículas ínfimas contidas no ar das salas e áreas limpas [33].

ISO Classificação número	ISO – 14 644-1 – Classes limites da limpeza do ar. Limites da concentração máxima de partículas por m³ de ar (p.m⁻³), para cada dimensão indicada, neste quadro.					
Nº	≥ 0,1 µm	≥ 0,2 µm	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
ISO Classe 1	10	2				
ISO Classe 2	100	24	10	4		
ISO Classe 3	1 000	237	102	35	8	
ISO Classe 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
ISO Classe 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO Classe 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO Classe 7				352 000	83 200	2 930
ISO Classe 8				3 520 000	832 000	29 300
ISO Classe 9				35 200 000	8 320 000	293 000

Quadro 7.2 – EU / GMP Grau de classificação das partículas ínfimas contidas no ar [34].

Número máximo permitido de partículas ínfimas por m <sup>3</sup> de ar, para os tamanhos indicados				
GRAU	Sala com Equipamento em Operação e sem Ocupação		Sala com Equipamento em Operação e com Ocupação	
	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
A	3 500	0	3 500	0
B	3 500	0	350 000	2 000
C	350 000	2 000	3 500 000	20 000
D	3 500 000	20 000	indefinido	Indefinido

### 7.3.1 Área em Estudo

A área em estudo é apresentada na planta da figura 7.17, onde se inserem o conjunto das salas limpas que constituem a área de injectáveis.

No quadro 7.3 indica-se o valor da área interior e o volume de cada sala, particularizados no Anexo C.

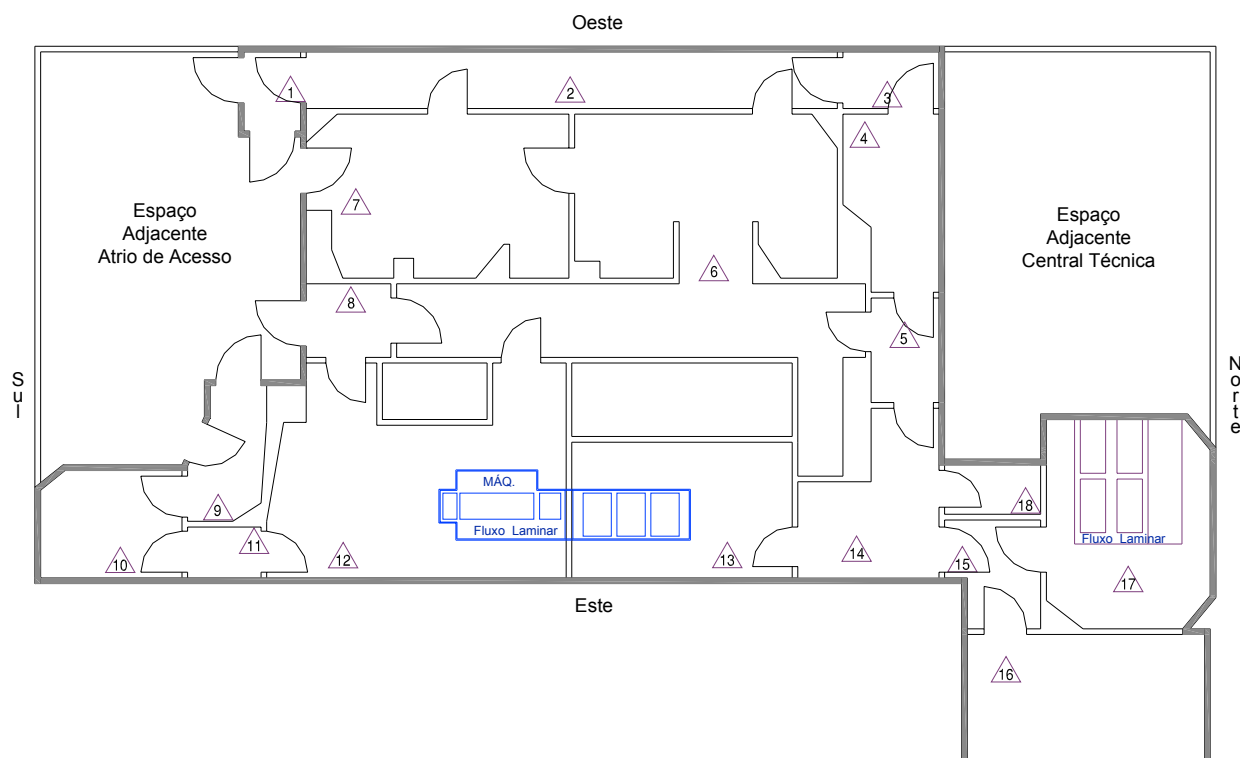


Fig. 7.17 – Área de injectáveis – Planta s/ escala.

Quadro 7.3 – Designação, áreas e volumes das salas limpas.

nº	- Designação da Sala Limpa	Áreas m <sup>2</sup>	p.d. m	Volume m <sup>3</sup>
1	- Antecâmara de Acesso ao Corredor Externo	2,2	2,6	5,7
2	- Corredor Externo	14,0	2,6	36,4
3	- Antecâmara de Acesso ao Vestiário	2,5	2,6	6,5
4	- Vestiário	7,0	2,6	18,2
5	- Antecâmara de Saída do Vestiário	3,5	2,6	9,1
6	- Sala de Transferência de Ampolas	39,3	2,6	102,2
7	- Sala de Rotulagem	18,9	2,6	49,1
8	- Antecâmara de Acesso à Secção de Injectáveis	3,0	2,6	7,8
9	- Antecâmara de Acesso ao Armazém de Ampolas	4,2	2,6	10,9
10	- Armazém de Ampolas	7,2	2,6	18,7
11	- Antecâmara de Ampolas / Sala de Lavagem de Ampolas	1,8	2,6	4,7
12	- Sala de Lavagem / Túnel de Esterilização de Ampolas	26,1	2,6	67,9
13	- Sala de Enchimento – Máquina	14,9	2,6	38,7
14	- Corredor Interno da secção de Injectáveis	8,8	2,6	22,9
15	- Antecâmara de Acesso à Sala de Preparação	2,2	2,6	5,7
16	- Sala de Preparação	14,4	2,6	37,4
17	- Sala de Filhação Asséptica	15,3	2,6	39,8
18	- Sala do Liofilizador	2,3	2,6	6,0
Totais		187,6 (188)	2,6	487,7 (488)

### 7.3.2 Caudais do Ar de Insuflação e Renovações por Hora

A insuflação do ar faz-se através de filtros absolutos terminais, conforme indicado na planta da figura 7.18.

No quadro 7.4 indicam-se os valores totais dos caudais do ar de insuflação medidos e o número de renovações por hora, obtidos em cada sala e particularizados no Anexo C.

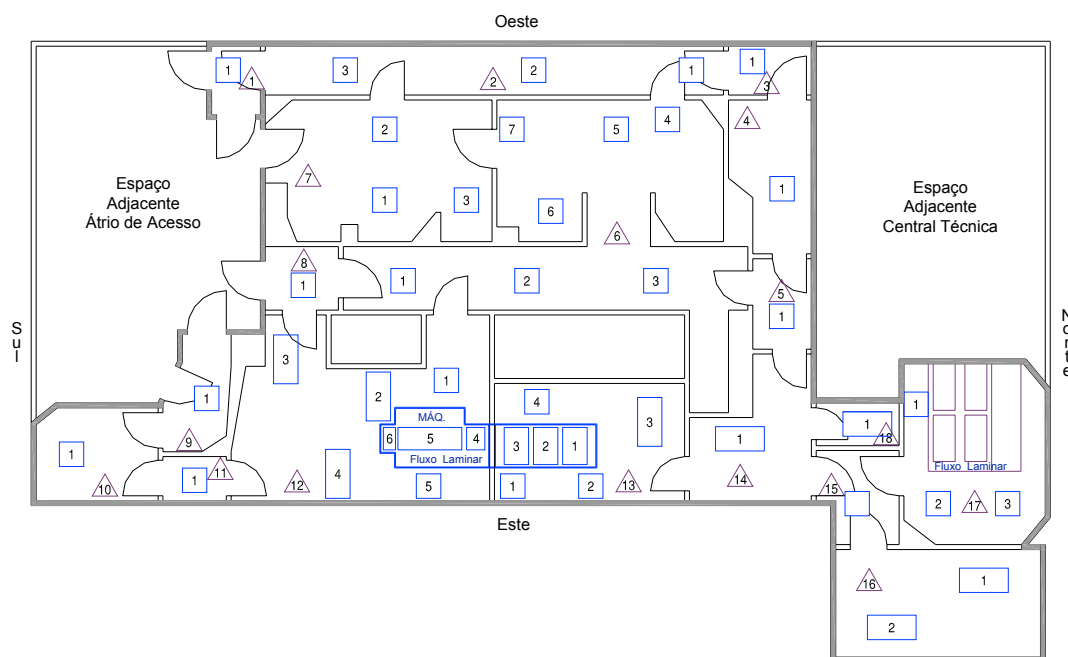


Fig. 7.18 – Localização dos filtros absolutos terminais – Planta s/escala.

Quadro 7.4 – Caudais totais do ar medidos e renovações por hora das salas limpas.

nº	- Filtro de Muito Alta Eficiência (Absoluto)		
nº	- Designação das Salas	Insuflação m <sup>3</sup> .h	Razão r.p.h.
1	- Antecâmara de Acesso ao Corredor Externo	1111	194
2	- Corredor Externo	1597	44
3	- Antecâmara de Acesso ao Vestiário	974	150
4	- Vestiário	980	54
5	- Antecâmara de Saída do Vestiário	918	101
6	- Sala de Transferência de Ampolas	5818	57
7	- Sala de Rotulagem	2806	57
8	- Antecâmara de Acesso à Secção de Injectáveis	63	8
9	- Antecâmara de Acesso ao Armazém de Ampolas	210	19
10	- Armazém de Ampolas	986	53
11	- Antecâmara de Ampolas / Sala de Lavagem de Ampolas	1005	215
12	- Sala de Lavagem / Túnel de Esterilização de Ampolas	3260	48
13	- Sala de Enchimento – Máquina	2096	54
14	- Corredor Interno da secção de Injectáveis	816	36
15	- Antecâmara de Acesso à Sala de Preparação	43	8
16	- Sala de Preparação	1310	35
17	- Sala de Filhação Asséptica	1411	35
18	- Sala do Liofilizador	598	100
Total		26002	

### 7.3.3 Número de Amostras para Contagem de Partículas

Na planta da figura 7.19 encontram-se indicadas, em cada sala, as localizações das sondas de contagem das partículas, cujos valores obtidos estão particularizados nos quadros do anexo C.

O número de amostras para a contagem das partículas, em cada local, é estabelecido na Norma ISO 14644-1 pela expressão  $N_L = \sqrt{A}$  (7.1) [33]. O  $N_L$  é o número mínimo de pontos do teste a efectuar no local, com arredondamento de qualquer valor decimal obtido para a unidade seguinte, e  $A$  diz respeito à área interior em m<sup>2</sup>, excluindo-se a área dos fluxos de ar laminares, onde existam.

É necessário ter em consideração acuidade na localização das sondas do teste. Estas devem ficar bem distribuídas e fora da influência dos fluxos do ar ou de pontos de quase estagnação.



De acordo com a Norma ISO 14644-1, o tratamento estatístico da concentração das partículas registadas no teste inicia-se com o cálculo da média da amostra, cuja expressão é:

$$\overline{x_i} = (x_{i,1} + x_{i,2} + \dots + x_{i,n}) / n \quad (7.3) \quad [33]$$

Sendo:  $x_{i,1}$  - Média da concentração de partículas representativa do local;

$x_{i,1}$  a  $x_{i,n}$  - Concentração individual de partículas contidas numa amostra;

$n$  - Número de amostras,  $i$ , consideradas no local.

Para exemplificação da metodologia e processo de cálculo considere-se, a título de exemplo, a sala 13 na condição de repouso cujos valores do ponto A, da partícula com tamanho  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ , são:

$$\begin{array}{ll} x_{i,1} & 17 \\ x_{i,2} & 2 \\ x_{i,3} & 1 \end{array} : x_{i,3} = (17+2+1) / 3 = 6,6666 \text{ p.ft}^{-3} = 235 \text{ p.m}^{-3}$$

### 7.3.5 Classificação das Salas Limpas

A classe de uma sala limpa é obtida após a realização de um conjunto de cálculos, efectuados a partir dos valores médios das partículas registadas no teste, para os tamanhos de  $\geq 0,3$ ;  $\geq 0,5$ ;  $\geq 1,0$  e  $\geq 5,0 \mu\text{m}$ , e comparar estes com os indicados no quadro 7.1 da Norma ISO 14644-1.

Nos quadros do anexo C encontram-se as classificações obtidas, por processo automático através de programa informático, para cada sala da área de injectáveis.

Para o entendimento do processo analítico, no tratamento estatístico da concentração de partículas obtidas, de acordo com a Norma ISO 14644-1, e a obtenção da classe da sala limpa, considere-se, ainda, o exemplo da sala 13 na condição de repouso, a saber:

#### 1º - Número de partículas da média da amostra por $\text{m}^3$

	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1,0 \mu\text{m}$	$\geq 5,0 \mu\text{m}$
$\overline{x_{i,1}}$	341	235	165	12
$\overline{x_{i,2}}$	3460	59	24	0
$\overline{x_{i,3}}$	7604	141	94	0
$\overline{x_{i,4}}$	6274	318	141	12
$\overline{x_{i,5}}$	1000	118	82	35



## 2º - Cálculo da média global das médias

Para o cálculo da média global das médias a expressão é a seguinte:

$$\bar{\bar{x}}_i = (\bar{x}_{i,1} + \bar{x}_{i,2} + \dots + \bar{x}_{i,n}) / m \quad (7.4) \quad [33]$$

Sendo:  $\bar{\bar{x}}$  - Média global das médias obtidas no local;

$\bar{x}_{i,1}$  a  $\bar{x}_{i,m}$  - Média da concentração de partículas representativa do local;

$m$  - Número médio das amostras consideradas no local.

Por conseguinte, para as partículas  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ , tem-se:

$$\bar{\bar{x}}_1 = (235 + 59 + 141 + 318 + 118) / 5 = 174 \text{ p.m}^{-3}$$

Aplicando o mesmo processo de cálculo, aos restantes tamanhos de partículas, obtêm-se os valores,  $\bar{\bar{x}}_i$ , seguintes:

	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1,0 \mu\text{m}$	$\geq 5,0 \mu\text{m}$
$\bar{\bar{x}}_i$	3736	174	101	12

## 3º - Cálculo do desvio padrão das médias

Para o cálculo do desvio padrão,  $s$ , a expressão é a seguinte:

$$s = \sqrt{\frac{(\bar{x}_{i,1} - \bar{\bar{x}})^2 + (\bar{x}_{i,2} - \bar{\bar{x}})^2 + \dots + (\bar{x}_{i,m} - \bar{\bar{x}})^2}{(m-1)}} \quad (7.5) \quad [33]$$

Por conseguinte, assumindo-se como exemplo as partículas  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ , tem-se:

$$s^2 = [(235 - 174)^2 + (59 - 174)^2 + (141 - 174)^2] + (318 - 174)^2 + (118 - 174)^2 / 4$$

$$s = 102 \text{ p.m}^{-3}$$

Aplicando o mesmo processo de cálculo, aos restantes tamanhos das partículas, obtêm-se os valores,  $s$ , seguintes:

	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1,0 \mu\text{m}$	$\geq 5,0 \mu\text{m}$
$s$	3182	102	55	14

#### 4º - Cálculo do Nível de Confiança Superior (NCS 95%)

Para o cálculo do Nível de Confiança Superior a 95% a expressão é a seguinte:

$$\text{NCS 95\%} = \bar{x} + t_{0,95} (s / \sqrt{m}) \quad (7.6) \quad [33]$$

Onde  $t_{0,95}$  – representa o nível de confiança a 95 % para o grau de *liberdade*  $m - 1$ , com valores indicados no quadro 7.5, em função do número médio  $m$ .

Quadro 7.5 – Valores da distribuição para um nível de confiança superior a 95% [33].

Número médio M	2	3	4	5	6	7 - 9
$t_{0,95}$	6,3	2,9	2,4	2,1	2	1,9

O cálculo a um Nível de Confiança Superior a 95% só é aplicado quando se tem mais de uma localização do teste e menos de nove.

Por conseguinte, assumindo-se como exemplo as partículas  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ , tem-se:

$$m = 5$$

$$t_{0,95} = 2,1$$

$$\text{sendo: NCS 95\% } (\geq 0,5 \mu\text{m}) = 174 + 2,1 (102 / \sqrt{5})$$

$$\text{tem-se: NCS 95\% } (\geq 0,5 \mu\text{m}) = 269,79 \approx 270 \text{ p.m}^{-3}$$

Aplicando o mesmo processo de cálculo, aos restantes tamanhos das partículas, obtém-se os valores,  $t_{0,95}$ , seguintes:

	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1,0 \mu\text{m}$	$\geq 5,0 \mu\text{m}$
$t_{0,95}$	6724	270	153	25

Estes são os valores que permitem classificar a sala 13 na *condição de repouso*, quando comparados com os do quadro 7.1 (ISO – 14644-1).

Porém, a sala 13 também tem de ser analisada para a *condição de operação*. Pelo que, aplicando a mesma metodologia e processo de cálculo, os valores,  $t_{0,95}$ , obtidos são:

	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1,0 \mu\text{m}$	$\geq 5,0 \mu\text{m}$
$t_{0,95}$	74 064	8 400	2 384	100

Estes são os valores que permitem classificar a sala 13 na *condição de operação*, quando comparados com os do quadro 7.1 (ISO – 14644-1).

#### 5º - Classificação da sala limpa

Uma sala limpa é considerada válida, quando cumpridos os requisitos específicos da classificação de limpeza do ar, se à média da concentração das partículas medidas para cada um dos tamanhos  $\geq 0,3$ ;  $\geq 0,5$ ;  $\geq 1$  e  $\geq 5\mu\text{m}$ , e aplicado o Nível de Confiança Superior a 95%, estes valores não excedem os limites da concentração estabelecidos na Norma ISO 14644-1, quadro 7.1.

Com efeito, para o exemplo considerado da sala limpa 13, o conhecimento da sua classe faz-se para as duas condições estabelecidas, a saber:

- Na *condição em repouso* a classe atribuída é ISO 5, porque todos os valores obtidos para o Nível de Confiança Superior a 95%, quando comparados com os do quadro 7.1, se encontram dentro dos limites desta;
- Na *condição em operação* a classe atribuída é ISO 6, porque todos os valores obtidos para o Nível de Confiança Superior a 95%, quando comparados com os do quadro 7.1, se encontram dentro dos limites desta.

A classificação final da sala 13, assume a condição mais desfavorável, neste caso é ISO 6.

Para a classificação das salas limpas, de acordo com a EU / GMP, comparando os valores obtidos com os indicados no respectivo quadro 7.2, obtém-se o grau C na condição de repouso e o grau B na condição de operação.

A classificação final da sala 13, assume a condição mais desfavorável, neste caso é C.

Aplicando a mesma metodologia e processo de cálculo a todas as salas limpas, da área em estudo, obtém-se os resultados indicados no quadro 7.6 para a condição de repouso e no quadro 7.7 para a condição de operação.

Quadro 7.6 – Classificação das salas limpas na *Condição de Repouso*.

Sala	Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , para o NCS a 95%				Total	Classe
Nº	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm	p.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>	Nº
1	2583	1484	1243	236	5546	ISO 6
2	8922	6030	3276	311	18539	ISO 7
3	4126	2958	1362	229	8675	ISO 6
4	6842	5044	2926	438	15250	ISO 7
5	8486	6877	4770	516	20649	ISO 7
6	14872	8257	4277	982	28388	ISO 7
7	1268	855	485	98	2706	ISO 6
8	59953	34598	15694	3007	113252	ISO 8
9	28910	20871	12183	876	62840	ISO 7
10	53904	35522	19517	2061	111004	ISO 7
11	2681	1453	619	82	4835	ISO 6
12	5662	3722	1857	211	11452	ISO 6
13	6724	270	153	25	7172	ISO 5
14	2371	1637	877	86	4971	ISO 6
15	9022	6427	3304	400	19153	ISO 7
16	1617	1233	776	128	3754	ISO 6
17	1012	444	231	16	1703	ISO 5
18	575	488	101	0	1164	ISO 5

Quadro 7.7 – Classificação das salas limpas na *Condição de Operação*.

Sala	Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , para o NCS a 95%				Total	Classe
Nº	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm	p.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>	Nº
1	2583	1484	1243	236	5546	ISO 6
2	8922	6030	3276	311	18539	ISO 7
3	4126	2958	1362	229	8675	ISO 6
4	6842	5044	2926	438	15250	ISO 7
5	8486	6877	4770	516	20649	ISO 7
6	14872	8257	4277	982	28388	ISO 7
7	1268	855	485	98	2706	ISO 6
8	59953	34598	15694	3007	113252	ISO 8
9	28910	20871	12183	876	62840	ISO 7
10	53904	35522	19517	2061	111004	ISO 7
11	2681	1453	619	82	4835	ISO 6
12	298285	50833	11415	540	361073	ISO 7
13	74064	8400	2384	100	84948	ISO 6
14	157063	48504	14423	292	220282	ISO 7
15	9022	6427	3304	400	19153	ISO 7
16	52928	27516	12645	1412	94501	ISO 7
17	1012	444	231	16	1703	ISO 5
18	575	488	101	0	1164	ISO 5

## 7.4 Análise e Resultados da Actual Instalação

Após a realização dos testes, com medição das partículas geradas em cada uma das salas limpas e que deram origem à classificação das mesmas, incluindo a medição dos caudais do ar insuflado

e as pressões relativas existentes entre elas, figura 7.20, é pertinente analisar a actual instalação para as situações seguintes:

- Controlo da retenção de partículas;
- Razão de renovação por hora do caudal do ar de insuflação;
- Analogia entre a razão de renovação do ar e a geração interior de partículas;
- Impacto da pressurização;
- Balanceamento da Instalação.

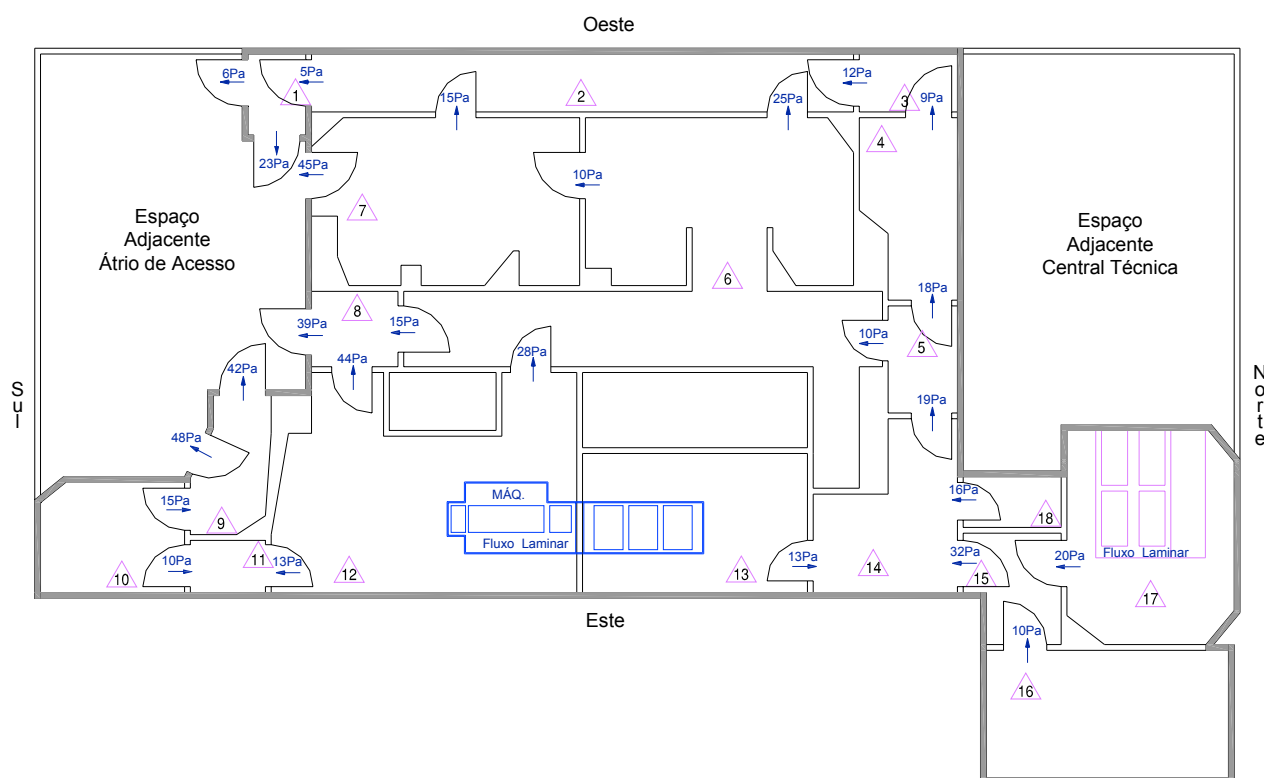


Fig. 7.20 – Sentido do fluxo de ar e pressão relativa existente entre as salas – Planta s/ escala.

### 7.4.1 Controlo da Retenção de Partículas

O controlo da retenção de partículas do ar insuflado, nas salas limpas, é facilmente dominado através da utilização de filtros de muito alta eficiência, também, correntemente designados de absolutos ou do tipo Hepa, cuja eficácia mínima normalmente aplicada é de 99,97 % (H12), testados para partículas  $\geq 0,3 \mu\text{m}$ , isto é, somente 0,03% destas partículas de  $0,3 \mu\text{m}$  ou maiores podem passar através deles.

Por exemplo, se o ar de retorno contém  $785\,496\text{ p.m}^{-3}$  (somatório das partículas  $\geq 0,3\text{ }\mu\text{m}$  do conjunto das salas limpas na condição de operação), a sua concentração é reduzida para  $236\text{ p.m}^{-3}$  ( $785\,496 * 0,0003$ ), depois de atravessar o filtro, podendo-se considerar o ar quase livre de partículas.

#### 7.4.2 Razão de Renovação por Hora do Caudal do Ar de Insuflação

Embora as classes ISO 1 até à ISO 5, das salas limpas, usem fluxos laminares de ar unidireccionais, a maior parte das salas da indústria farmacêutica depende do princípio da diluição para o controlo das partículas (fluxos de ar turbulentos). Para uma boa mistura do ar, em qualquer momento, a concentração das partículas pode ser expressa pela equação diferencial seguinte [35]:

$$dx = (s - x) * r * dt + g * dt \quad (7.7)$$

Ond  $s$  - concentração de partículas por  $\text{m}^3$  ( $\text{p.m}^{-3}$ ) do ar de insuflação;  
 e:  $r$  - razão de renovação por hora (r.p.h) do caudal do ar de insuflação,  
 $g$  - quantidade de partículas geradas no interior da sala por  $\text{m}^3$  por minuto ( $\text{p.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$ );  
 $x$  - concentração de partículas por  $\text{m}^3$  ( $\text{p.m}^{-3}$ ) do ar de retorno da sala limpa.

Assumindo que a concentração inicial na sala é  $X_0$  e não considerando a variação do  $g$  com o tempo, integrando a equação 6.7 tem-se:

$$x = (X_0 - s - g / r) * \exp (-rt) + s + g/r \quad (7.8)$$

Com o decorrer do tempo o sistema alcança um estado de equilíbrio e facilmente se pode calcular o número de renovações por hora, em função do  $g$ ,  $s$  ou  $x$ , com a equação:

$$r = 60 * g / (x-s) \text{ [r.p.h.]} \quad (7.9)$$

Na avaliação do presente caso de estudo aplique-se o conceito teórico enunciado a toda a área limpa, constituída por quatro classes de salas, quadros 7.8 e 7.9. Porém, é necessário agruparam-se as salas da mesma classe para o conhecimento da quantidade de partículas existentes em cada condição, a saber:

- Condição de Repouso

Salas ISO 5 com 10 039 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Salas ISO 6 com 41 939 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Salas ISO 7 com 144 865 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Sala ISO 8 com 53 299 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

- Condição de Operação

Salas ISO 5 com 2 867 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Salas ISO 6 com 106 710 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Salas ISO 7 com 312 445 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Sala ISO 8 com 53 299 p.m<sup>-3</sup>.min.<sup>-1</sup>

Quadro 7.8 – Características das salas limpas, resultantes do teste, na *Condição de Repouso*.

Sala	Volume	Classe	Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , para o NCS a 95%				Total	Caudal de Ar Insuflação	Razão
Nº	m <sup>3</sup>	Nº	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm	p.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	r.p.h.
1	5,7	ISO 6	2583	1484	1243	236	5546	1111	194
2	36,4	ISO 7		6030	3276	311	9617	1597	44
3	6,5	ISO 6	4126	2958	1362	229	8675	974	150
4	18,2	ISO 7		5044	2926	438	8408	980	54
5	9,1	ISO 7		6877	4770	516	12163	918	101
6	102,2	ISO 7		8257	4277	982	13516	5818	57
7	49,1	ISO 6	1268	855	485	98	2706	2806	57
8	7,8	ISO 8		34598	15694	3007	53299	63	8
9	10,9	ISO 7		20871	12183	876	33930	210	19
10	18,7	ISO 7		35522	19517	2061	57100	986	53
11	4,7	ISO 6	2681	1453	619	82	4835	1005	215
12	67,9	ISO 6	5662	3722	1857	211	11452	3260	48
13	38,7	ISO 5	6724	270	153	25	7172	2096	54
14	22,9	ISO 6	2371	1637	877	86	4971	816	36
15	5,7	ISO 7		6427	3304	400	10131	43	8
16	37,4	ISO 6	1617	1233	776	128	3754	1310	35
17	39,8	ISO 5	1012	444	231	16	1703	1411	35
18	6,0	ISO 5	575	488	101	0	1164	598	100
Totais	487,7		28619	138170	73651	9702	250142	26002	
Média									70,4
Razão								53,3 r.p.h.	

Quadro 7.9 – Características das salas limpas, resultantes do teste, na *Condição de Operação*.

Sala	Volume	Classe	Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , para o NCS a 95%				Total	Caudal de Ar Insuflação	Razão
Nº	m <sup>3</sup>	Nº	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm	p.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	r.p.h.
1	5,7	ISO 6	2583	1484	1243	236	5546	1111	194
2	36,4	ISO 7		6030	3276	311	9617	1597	44
3	6,5	ISO 6	4126	2958	1362	229	8675	974	150
4	18,2	ISO 7		5044	2926	438	8408	980	54
5	9,1	ISO 7		6877	4770	516	12163	918	101
6	102,2	ISO 7		8257	4277	982	13516	5818	57
7	49,1	ISO 6	1268	855	485	98	2706	2806	57
8	7,8	ISO 8		34598	15694	3007	53299	63	8
9	10,9	ISO 7		20871	12183	876	33930	210	19
10	18,7	ISO 7		35522	19517	2061	57100	986	53
11	4,7	ISO 6	2681	1453	619	82	4835	1005	215
12	67,9	ISO 7		50833	11415	540	62788	3260	48
13	38,7	ISO 6	74064	8400	2384	100	84948	2096	54
14	22,9	ISO 7		48504	14423	292	63219	816	36
15	5,7	ISO 7		6427	3304	400	10131	43	8
16	37,4	ISO 7		27516	12645	1412	41573	1310	35
17	39,8	ISO 5	1012	444	231	16	1703	1411	35
18	6,0	ISO 5	575	488	101	0	1164	598	100
Totais	487,7		86309	266561	110855	11596	475321	26002	
Média									70,4

Aplicando a expressão 7.9 têm-se conhecimento da razão de renovação por hora do caudal do ar de insuflação, em cada condição e para cada uma das classes, a saber:

- Condição de Repouso

$$\text{Salas ISO 5} - r = (60 * 10\,039) / (10\,200 - 3) = 59,1 \text{ r.p.h.}$$

$$\text{Salas ISO 6} - r = (60 * 41\,939) / (102\,000 - 31) = 24,7 \text{ r.p.h.}$$

$$\text{Salas ISO 7} - r = (60 * 144\,865) / (352\,000 - 106) = 24,7 \text{ r.p.h.}$$

$$\text{Sala ISO 8} - r = (60 * 53\,299) / (3\,520\,000 - 1056) = 0,9 \text{ r.p.h.}$$

- Condição de Operação

$$\text{Salas ISO 5} - r = (60 * 2\,867) / (10\,200 - 3) = 16,9 \text{ r.p.h.}$$

$$\text{Salas ISO 6} - r = (60 * 106\,710) / (102\,000 - 31) = 62,8 \text{ r.p.h.}$$

$$\text{Salas ISO 7} - r = (60 * 312\,445) / (352\,000 - 106) = 53,3 \text{ r.p.h.}$$

$$\text{Sala ISO 8} - r = (60 * 53\,299) / (3\,520\,000 - 1056) = 0,9 \text{ r.p.h.}$$

Para as salas ISO 5 verifica-se que o valor de r.p.h. é inferior ao obtido na condição de repouso. Nestas circunstâncias, é de admitir a razão de 59,1 r.p.h. da condição anterior.

Para o conhecimento do caudal total do ar de insuflação ( $q$  em m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), em cada classe de salas,



aplica-se a expressão  $q = r * V$  (7.10), sendo  $V$  o volume das salas em  $m^3$ . Tem-se:

- Situação de Repouso

$$\text{Salas ISO 5} - q = 59,1 * 84,5 = 4\,994 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Salas ISO 6} - q = 24,7 * 194,2 = 4\,797 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Salas ISO 7} - q = 24,7 * 201,2 = 4\,970 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Sala ISO 8} - q = 0,9 * 7,8 = 7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Total} = 14\,768 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

- Situação de Operação

$$\text{Salas ISO 5} - q = 59,1 * 45,8 = 2\,707 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Salas ISO 6} - q = 62,8 * 104,7 = 6\,575 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Salas ISO 7} - q = 53,3 * 329,4 = 17\,557 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Sala ISO 8} - q = 0,9 * 7,8 = 7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Total} = 26\,846 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Em face do exposto, para cada uma das salas, é possível determinar as diferenças existentes entre os valores dos caudais do ar de insuflação obtidos, no cálculo teórico, e os medidos. Os resultados obtidos encontram-se indicados nos quadros 7.10 e 7.11, respectivamente, para as condições de repouso e operação.

Quadro 7.10 – Diferenças entre os caudais do ar de insuflação teóricos e os medidos - *Condição de Repouso*.

Sala	Classe	Razão (r.p.h.)		Volume	Caudal de Insuflação ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )		Diferença
Nº	Nº	Teórico	Medido	$m^3$	Teórico	Medido	$m^3 \cdot h^{-1}$
1	ISO 6	24,7	194	5,7	141	1111	-970
2	ISO 7	24,7	44	36,4	899	1597	-698
3	ISO 6	24,7	150	6,5	161	974	-813
4	ISO 7	24,7	54	18,2	450	980	-530
5	ISO 7	24,7	101	9,1	225	918	-693
6	ISO 7	24,7	57	102,2	2524	5818	-3294
7	ISO 6	24,7	57	49,1	1213	2806	-1593
8	ISO 8	0,9	8	7,8	7	63	-56
9	ISO 7	24,7	19	10,9	269	210	59
10	ISO 7	24,7	53	18,7	462	986	-524
11	ISO 6	24,7	215	4,7	116	1005	-889
12	ISO 6	24,7	48	67,9	1677	3260	-1583
13	ISO 5	59,1	54	38,7	2287	2096	191
14	ISO 6	24,7	36	22,9	566	816	-250
15	ISO 7	24,7	8	5,7	141	43	98
16	ISO 6	24,7	35	37,4	924	1310	-386
17	ISO 5	59,1	35	39,8	2352	1411	941
18	ISO 5	59,1	100	6,0	355	598	-243
Totais				487,7	14768	26002	-11233
Média		29,1	70,4				
Razão					30,2 r.p.h.	53,3 r.p.h.	

Quadro 7.11 – Diferenças entre os caudais do ar de insuflação teóricos e os medidos - *Condição de Operação*.

Sala	Classe	Razão (r.p.h.)		Volume	Caudal de Insuflação (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )		Diferença
Nº	Nº	Teórico	Medido	m <sup>3</sup>	Teórico	Medido	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
1	ISO 6	62,8	194	5,7	358	1111	-753
2	ISO 7	53,3	44	36,4	1940	1597	343
3	ISO 6	62,9	150	6,5	408	974	-566
4	ISO 7	53,3	54	18,2	970	980	-10
5	ISO 7	53,3	101	9,1	485	918	-433
6	ISO 7	53,3	57	102,2	5447	5818	-371
7	ISO 6	62,8	57	49,1	3084	2806	278
8	ISO 8	0,9	8	7,8	7	63	-56
9	ISO 7	53,3	19	10,9	581	210	371
10	ISO 7	53,3	53	18,7	997	986	11
11	ISO 6	62,8	215	4,7	295	1005	-710
12	ISO 7	53,3	48	67,9	3619	3260	359
13	ISO 6	62,8	54	38,7	2430	2096	334
14	ISO 7	53,3	36	22,9	1221	816	405
15	ISO 7	53,3	8	5,7	304	43	261
16	ISO 7	53,3	35	37,4	1993	1310	683
17	ISO 5	59,1	35	39,8	2352	1411	941
18	ISO 5	59,1	100	6,0	355	598	-243
Totais				487,7	26846	26002	844
Média		53,7	70,4				
Razão					55,0 r.p.h.	53,3 r.p.h.	

#### 7.4.3 Analogia entre a Razão de Renovação do Ar e a Geração Interior de Partículas

Recorde-se que, a classe de uma sala é obtida quando se comparam os valores das partículas do NCS a 95%, para cada um dos tamanhos  $\geq 0,3$ ;  $\geq 0,5$ ;  $\geq 1$  e  $\geq 5 \mu\text{m}$ , com os limites estabelecidos na Norma ISO 14 644-1 e não se excedem estes.

Porém, é interessante verificar qual o motivo das salas não terem melhor classificação. O diagnóstico da situação pode ser efectuado através da analogia existente entre a razão de renovação do ar com a geração interior de partículas.

Para o efeito, considerem-se as salas na condição de operação e admita-se melhorar o seu nível de uma classe. Nestas circunstâncias, a sala ISO 8 passa a ISO 7, as salas ISO 7 passam a ISO 6, as salas ISO 6 passam a ISO 5 e mantêm-se as ISO 5 (17 e 18), por motivo de não haver qualquer interesse em que estas sejam ISO 4, conforme indicado no quadro 7.12. Relativamente a este, refira-se que, os valores assinalados são os que impedem a sala ter melhor classificação, conforme explicitado nas folhas do anexo C.

Para a situação estabelecida, determinem-se as razões de renovação do ar para cada tamanho de partículas em cada sala.

Quadro 7.12 – Salas com classe superior à estabelecida e relação com as razões de renovação do ar,  
*Condição de Operação.*

Sala	Classe	Partículas $\text{m}^{-3}.\text{min}^{-1}$ , para o NCS a 95%						Razão (r.p.h.)		Caudal de Insuflação ( $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ )	
Nº	Nº	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	r.p.h.	$\geq 1,0 \mu\text{m}$	r.p.h.	$\geq 5,0 \mu\text{m}$	r.p.h.	Teórico r.p.h.	Medido r.p.h.	Teórico	Medido
1	ISO 5	1484	25,3	1243	89,6	236	488,3	62,8	194	358	1111
2	ISO 6	6030	10,3	3276	23,6	311	63,7	53,3	44	1940	1597
3	ISO 5	2958	50,4	1362	98,2	229	473,8	62,8	150	408	974
4	ISO 6	5044	8,6	2926	21,1	438	89,7	53,3	54	970	980
5	ISO 6	6877	11,7	4770	34,4	516	105,7	53,3	101	485	918
6	ISO 6	8257	14,1	4277	30,9	982	201,0	53,3	57	5447	5818
7	ISO 5	855	14,5	485	35,0	98	202,8	62,8	57	3084	2806
8	ISO 7	34598	5,9	15694	11,3	3007	61,6	0,9	8	7	63
9	ISO 6	20871	35,6	12183	87,9	876	179,4	53,3	19	581	210
10	ISO 6	35522	60,6	19517	140,8	2061	422,0	53,3	53	997	986
11	ISO 5	1453	24,8	619	44,6	82	169,7	62,8	215	295	1005
12	ISO 6	50833	86,7	11415	82,3	540	110,6	53,3	48	3619	3260
13	ISO 5	8400	143,2	2384	171,9	100	206,9	62,8	54	2430	2096
14	ISO 6	48504	82,7	14423	104,0	292	59,8	53,3	36	1221	816
15	ISO 6	6427	11,0	3304	23,8	400	81,9	53,3	8	304	43
16	ISO 6	27516	46,9	12645	91,2	1412	289,1	53,3	35	1993	1310
17	ISO 5	444	7,6	231	16,6	16	33,1	59,1	35	2352	1411
18	ISO 5	488	8,3	101	7,3	0	0	59,1	100	355	598
Totais		266561		110855		11596				26846	26002
Média			36,0		61,9		180,0	53,7	70,4		
Razão										55,0 r.p.h.	53,3 r.p.h.

Observando os valores das razões de renovação do ar obtidos e comparando-os com os resultados teóricos e medidos, verifica-se que o número de renovações por hora aumenta com o tamanho das partículas e consequentemente não é possível obter-se a classificação pretendida. Contudo, no presente caso de estudo, ocorrem duas exceções, a saber:

- Na sala 1 (antecâmara), classificada como ISO 6, para o tamanho das partículas  $\geq 1\mu\text{m}$ , a razão de renovação do ar obtida, 89,6 r.p.h., é inferior ao valor medido, 194 r.p.h. Significa que  $511 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  ( $89,6 * 5,7\text{m}^3$ ) são suficientes para diluir as  $1243 \text{ p.m}^{-3}$ ;
- Na sala 11 (antecâmara), classificada como ISO 6, para o tamanho das partículas  $\geq 5\mu\text{m}$ , a razão de renovação do ar obtida, 169,7 r.p.h., é inferior ao valor medido, 215 r.p.h. Significa que  $798 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  ( $169,7 * 4,7\text{m}^3$ ) são suficientes para diluir as  $82 \text{ p.m}^{-3}$ .

Perante estes factos, poder-se-á admitir as seguintes hipóteses:

- Não foi exacta a medição do caudal do ar de insuflação;

- Houve erro na transcrição dos valores.

Admitir a hipótese de considerar erro na contabilização das partículas, devido à localização das sondas, não é provável, por motivo de se tratarem de duas antecâmaras com áreas reduzidas.

É interessante verificar, na sala 17, que o valor da média das razões teóricas obtidas 38 r.p.h. [ (59,1 + 16,9) / 2], para as condições de repouso e de operação, é próximo do requerido, 33,1 r.p.h., e do medido, 35 r.p.h., bem como suficiente para garantir a classe ISO 5. Caso se considerassem as salas 17 e 18, ISO 5, com 38 r.p.h., o caudal total do ar de insuflação seria de  $25\,880\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , registando-se uma diferença em relação ao medido de  $-122\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  ( $25\,880 - 26\,002$ ). Como se admitiu a razão mais elevada, 59,1 r.p.h., correspondente à situação de repouso, o caudal total do ar de insuflação é de  $26\,847\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , registando-se uma diferença em relação ao medido de  $844\text{ m}^3\cdot\text{h}$  ( $26\,846 - 26\,002$ ). Em ambas as situações os valores são muito próximos e consequentemente as razões de renovação do ar, respectivamente de: 53,1 r.p.h. ( $25\,880 / 487,7\text{ m}^3$ ), 55,0 r.p.h. ( $26\,846 / 487,7\text{ m}^3$ ) e de 53,3 r.p.h. ( $26002 / 487,7$ ). Valores próximos da média do número de renovações por hora teórico, de 53,7 r.p.h., e significativamente inferiores ao valor médio do número de renovações por hora medido, de 70,4 r.p.h.. Este indiciador de erro cometido na medição.

#### 7.4.4 Impacto da Pressurização

Um dos parâmetros *mais importantes* das salas limpas é a pressão diferencial na sala. Facilmente se percebe que, mantendo uma pressão positiva sobre os espaços adjacentes, a infiltração proveniente destes, menos limpos, para o interior da sala limpa é minimizada.

Todos os guias recomendam 12,5 Pa de diferença de pressão através das portas, que separam as salas com diferentes classificações [35]. Absolutamente nada está errado com esta filosofia, mas é interessante verificar como a pressão diferencial afecta o desempenho de uma sala limpa, bem como a área das frinchas das portas.

Uma porta típica de acesso tem  $2,1 * 0,9\text{ m}$ , sendo corrente assumir-se uma frincha envolvente de 3 mm, ao qual corresponde a área de  $0,018\text{ m}^2$  [35].

Considerando-se o exemplo da sala 13, classe ISO 6 na condição de operação, com uma porta de acesso através da sala 14, classe ISO 7 na condição de operação, cujo diferencial de pressão

medido é de 13 Pa, fig. 7.20, o valor do caudal de ar que passa através da frincha considerada é de  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , aplicando-se a equação seguinte [15]:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} \times v^2 \quad (7.11) \quad \text{Sendo: } \Delta p - \text{Perda de carga singular} \quad [\text{Pa}]$$

$\zeta$  - Coeficiente da perda de carga singular

$$\text{Como: } v = \frac{q}{A} \quad (7.12) \quad \rho - \text{Massa volúmica} - 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$$

$$\text{Então: } \Delta p = \zeta \times 0,6 (q/A)^2 \quad (7.13) \quad v - \text{Velocidade de escoamento do ar} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$Q$  - Caudal de ar  $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

$A$  - Área da frincha  $[\text{m}^2]$

$$\text{e: } q = \sqrt{\frac{\Delta p \times A^2}{\zeta \times 0,6}} \quad (7.14)$$

Ao admitir-se:  $\zeta = 1$ , para  $\Delta p = 13 \text{ Pa}$  e  $A = 0,018 \text{ m}^2$

obtem-se:  $q = 0,083 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

A este valor do caudal corresponde a velocidade de passagem do ar na frincha de  $4,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Este caudal contribuirá com a passagem de 54 420 partículas ( $5 * 10\,884 \text{ p} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ , da sala 13 ( $10\,884 = 8400 + 2\,384 + 100$ ) para a 14.

Admitindo-se que a mesma porta possui uma frincha inferior de 5mm, com a restante envolvente bem calafetada, a área será de  $0,0045 \text{ m}^2$ . Para a mesma diferença de pressão, 13 Pa, o valor do caudal de ar será de  $1,25 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , contribuindo este com uma passagem de 13 605 partículas ( $1,25 * 10\,884 \text{ p} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ , da sala 13 para a 14. Valor significativamente inferior ao anterior.

Quando da realização dos ensaios na condição de operação, só foram medidas as partículas geradas no interior das salas que se encontram nesta situação 12, 13, 14 e 16. Porém, a pressurização destas, influência directamente as salas 5, 6, 8, 11 e 15, do qual apenas se tem conhecimento do valor das partículas geradas no seu interior na condição de repouso. Pelo que, é conveniente determinar a quantidade de partículas introduzidas nestas salas devido à infiltração, quadro 7.13.

Quadro 7.13 – Quantidade de partículas introduzidas nas salas devido à pressurização na *Condição de Operação*.

Coluna Sala	1	2	3	4	5	6	7	8
5	ISO 7	9,1	14	-19	1,52	63 219	96 093	10 560
6	ISO 7	102,2	5	-10	1,10	12 163	13 379	1 261
			12	-28	1,84	62 788	115 530	
8	ISO 8	7,8	6	-15	1,35	13 516	18 247	20 934
			12	-44	2,31	62 788	145 040	
11	ISO 6	4,7	12	-13	1,26	84 948	107 034	22 773
15	ISO 7	5,7	16	-10	1,10	41 573	45 730	8 023
Coluna 1 - Classe da sala; 2 - Volume da sala em m <sup>3</sup> ; 3 - Número da sala que origina a infiltração; 4 - Pressão relativa da sala em Pa; 5 - Caudal do ar de infiltração em m <sup>3</sup> .min. <sup>-1</sup> ; 6 - Quantidade de partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , ≥0,5 μm, da sala que origina a infiltração; 7 - Quantidade de partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , ≥0,5 μm, introduzidas na sala devido à infiltração; 8 - Quantidade de partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> diluídas na sala.								

O aumento do número de partículas no interior destas salas originará o consequente acréscimo do número de renovações por hora, a saber:

- Salas ISO 6 -  $r = (60 * 22\,773) / (102\,000 - 31) = 13,4 \text{ r.p.h}$
- Salas ISO 7 -  $r = (60 * 19\,844) / (352\,000 - 106) = 3,4 \text{ r.p.h}$
- Sala ISO 8 -  $r = (60 * 20\,934) / (3\,520\,000 - 1056) = 0,4 \text{ r.p.h}$

Recorde-se que a razão de renovação da medição da sala 11, ISO 6, é de 215 r.p.h, a teórica obtida foi de 62,8 r.p.h e a requerida, por motivo da infiltração, será 76,2 r.p.h. (62,8 + 13,4). Relativamente às salas 5, 6 e 15, ambas ISO 7, da medição obtiveram-se respectivamente 101 r.p.h, 57 r.p.h. e 8 r.p.h, o valor teórico foi de 53,3 r.p.h e a requerida, devida há infiltração, será 56,7 r.p.h. (53,3 + 3,4).

No que diz respeito à sala 8, ISO 8, da medição obteve-se 8 r.p.h, no valor teórico 0,9 r.p.h e a requerida será 1,3 r.p.h. (0,9 + 0,4), devido à infiltração.

### 7.4.5 Balanceamento da Instalação

Efectuada a análise da instalação é pertinente proceder ao balanceamento da mesma, para as condições de repouso e de operação, tendo em consideração a geração interior de partículas e os efeitos da pressurização.

Quanto à QAI, na realidade poucos espaços farmacêuticos são classificados em ISO 6 (não existe classificação 6 na EU / GMP – Quadro 6.2). Estes são tipicamente uma antecâmara ou sala intercalar, que separa a sala limpa (área típica ISO 5) e o espaço adjacente ISO 7. Mas é absolutamente aceitável ter uma área ISO 5 ( $3\,520\text{ p.m}^{-3}$ ) com fluxo unidireccional, no interior de uma sala ISO 7, não necessitando de uma separação ISO 6 [35].

#### 7.4.5.1 Balanceamento da Instalação na Condição de Operação

Inicie-se o estudo do balanceamento da instalação para a condição mais desfavorável, isto é, de operação, sem retirar qualidade às salas 17 e 18, classificadas como ISO 5 e cuja geração de partículas interior é muito pequena, devido à ausência de operadores.

As restantes salas limpas, 1 a 16, serão consideradas ISO 7.

Nestas circunstâncias, considera-se a quantidade de partículas contabilizadas no interior das salas e as devidas à infiltração, consequência da pressurização, quadro 7.14.

Quadro 7.14 – Quantidade de partículas geradas no interior das salas limpas para o balanceamento da instalação, *Condição de Operação*.

Sala Nº	Volume $\text{m}^3$	Classe Nº	Partículas. $\text{m}^{-3}.\text{min}^{-1}$ , para o NCS a 95%				Infiltração $\text{p.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$	Total $\text{p.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$
			$\geq 0,3\ \mu\text{m}$	$\geq 0,5\ \mu\text{m}$	$\geq 1,0\ \mu\text{m}$	$\geq 5,0\ \mu\text{m}$		
1	5,7	ISO 7		1484	1243	236		2963
2	36,4	ISO 7		6030	3276	311		9617
3	6,5	ISO 7		2958	1362	229		4549
4	18,2	ISO 7		5044	2926	438		8408
5	9,1	ISO 7		6877	4770	516	10560	22723
6	102,2	ISO 7		8257	4277	982	1261	14777
7	49,1	ISO 7		855	485	98		1438
8	7,8	ISO 7		34598	15694	3007	20934	74233
9	10,9	ISO 7		20871	12183	876		33930
10	18,7	ISO 7		35522	19517	2061		57100
11	4,7	ISO 7		1453	619	82	22773	24927
12	67,9	ISO 7		50833	11415	540		62788
13	38,7	ISO 7		8400	2384	100		10884
14	22,9	ISO 7		48504	14423	292		63219
15	5,7	ISO 7		6427	3304	400	8023	18154
16	37,4	ISO 7		27516	12645	1412		41573
17	39,8	ISO 5	1012	444	231	16		1703
18	6,0	ISO 5	575	488	101	0		1164
Totais	487,7		1587	266561	110855	11596	63551	454150

Determinação da razão de renovação por hora:

- Salas ISO 5 -  $r = (60 * 2\,867) / (10\,200 - 3) = 16,9 \text{ r.p.h.}$
- Salas ISO 7 -  $r = (60 * 451\,283) / (352\,000 - 106) = 76,9 \text{ r.p.h.}$

Para o conhecimento do caudal de ar total de insuflação, tem-se:

- Salas ISO 5 -  $q = 16,9 * 45,8 = 774 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Salas ISO 7 -  $q = 76,9 * 441,9 = 33\,982 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Total =  $34\,756 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$

Para garantir, na condição de operação, a classe ISO 7, nas salas 1 a 16, é necessário o caudal de  $34\,756 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ . Sendo este valor superior ao existente, conclui-se não ser possível obter a classificação pretendida

Porém, é perfeitamente aceitável ter as antecâmaras 1, 3, 8 e 9, bem como o corredor externo 2 e o vestiário 4, com classe ISO 8. Mantendo-se as classes ISO 5, nas salas 17 e 18, e ISO 7, nas restantes salas.

Para esta situação determine-se a razão de renovação por hora:

- Salas ISO 5 -  $r = (60 * 2\,867) / (10\,200 - 3) = 16,9 \text{ r.p.h.}$
- Salas ISO 7 -  $r = (60 * 317\,583) / (352\,000 - 106) = 54,1 \text{ r.p.h.}$
- Salas ISO 8 -  $r = (60 * 133\,700) / (3\,520\,000 - 1056) = 2,3 \text{ r.p.h.}$

O caudal total do ar de insuflação será:

- Salas ISO 5 -  $q = 16,9 * 45,8 = 774 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Salas ISO 7 -  $q = 54,1 * 356,4 = 19\,281 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Salas ISO 8 -  $q = 2,3 * 85,5 = 197 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$
- Total =  $20\,252 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$

Tendo em consideração o caudal do ar total obtido e mantendo os valores das pressões relativas existentes entre as salas, para a aérea da frincha considerada nas portas de  $0,0045\text{m}^2$ , deve proceder-se ao cálculo individual do caudal do ar a insuflar e a extrair em cada sala, quadro 7.15.

Verifica-se existir um défice do caudal de ar nas antecâmaras 1 e 9, para garantir a pressurização em relação ao exterior. Para o efeito, é necessário introduzir mais ar novo,  $266 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ , passando o caudal total do ar de insuflação a ser aproximadamente de  $20\,520 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ .



Quadro 7.15 – Caudal do ar de insuflação e de extracção.

Sala	1	2	3	4	5	6	7	8
1	ISSO 8	5,7	2,3	13	Exterior	6	-51	-91
					Exterior	23	-100	
					2	-5	47	
2	ISSO 8	36,4	2,3	84	1	5	-47	294
					3	-12	72	
					6	-25	104	
					7	-15	81	
3	ISSO 8	6,5	2,3	15	2	12	-72	5
					4	-9	62	
4	ISSO 8	18,2	2,3	42	3	9	-62	68
					5	-18	88	
5	ISSO 7	9,1	54,1	492	5	18	-88	429
					6	10	-66	
					14	-19	91	
6	ISSO 7	102,2	54,1	5529	2	25	-104	5454
					7	10	-66	
					8	15	-81	
					5	-10	66	
					12	-28	110	
7	ISSO 7	49,1	54,1	2656	Exterior	45	-140	2501
					2	15	-81	
					6	-10	66	
8	ISSO 8	7,8	2,3	18	Exterior	39	-130	106
					6	-15	81	
					12	-44	137	
9	ISSO 8	10,9	2,3	25	Exterior	42	-136	-175
					Exterior	48	-145	
					10	-15	81	
10	ISSO 7	18,7	54,1	1012	9	15	-81	865
					11	10	-66	
11	ISSO 7	4,7	54,1	254	10	-10	66	396
					12	-13	76	
12	ISSO 7	67,9	54,1	3673	6	28	-110	3350
					8	44	-137	
					11	13	-76	
13	ISSO 7	38,7	54,1	2094	14	13	-76	2018
14	ISSO 7	22,9	54,1	1239	5	19	-91	1425
					13	-13	76	
					15	-32	118	
					18	-16	83	
15	ISSO 7	5,7	54,1	308	14	32	-118	350
					16	-10	66	
					17	-20	94	
16	ISSO 7	37,4	54,1	2023	15	10	-66	1957
17	ISSO 5	39,8	16,9	673	15	20	-94	576
18	ISSO 5	6,0	16,9	101	15	16	-83	18
Total				20252				19546
Coluna 1 - Classe da sala 2 - Volume da sala em m <sup>3</sup> 3 - Razão de renovação por hora, necessária para a classe da sala 4 - Caudal do ar de insuflação em m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> 5 - Número da sala que origina a infiltração 6 - Valor da pressurização da sala em Pa 7 - Caudal do ar de infiltração em m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> 8 - Caudal do ar de extracção em m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>								

#### 7.4.5.2 Balanceamento da Instalação na Condição de Repouso

Para garantir uma eficiente QAI das salas ou aéreas limpas é conveniente que o funcionamento das instalações de AVAC seja permanente (24 h). Porém, tratando-se de uma sistema a volume de ar constante, verificar-se-ão elevados consumos de energia. Nestas circunstâncias, é conveniente estudar uma solução que reduza os inerentes custos.

Quando se trata de projectar uma instalação, varias hipóteses de sistemas são possíveis de analisar. Tratando-se de uma existente, a solução mais fácil de implementar será reduzir o caudal de ar a insuflar na condição de repouso.

Para o efeito, verifique-se, no presente caso de estudo, qual será o caudal do ar de insuflação, para a quantidade de partículas medidas na condição de repouso, quadro 7.16.

Quadro 7.16 - Quantidade de partículas gerados no interior das salas limpas para o balanceamento da instalação,  
*Condição de Repouso.*

Sala	Volume	Classe	Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup> , para o NCS a 95%				Total
Nº	m <sup>3</sup>	Nº	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1,0 µm	≥ 5,0 µm	p.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>
1	5,7	ISO 7		1484	1243	236	2963
2	36,4	ISO 7		6030	3276	311	9617
3	6,5	ISO 7		2958	1362	229	4549
4	18,2	ISO 7		5044	2926	438	8408
5	9,1	ISO 7		6877	4770	516	12163
6	102,2	ISO 7		8257	4277	982	13516
7	49,1	ISO 7		855	485	98	1438
8	7,8	ISO 7		34598	15694	3007	53299
9	10,9	ISO 7		20871	12183	876	33930
10	18,7	ISO 7		35522	19517	2061	57100
11	4,7	ISO 7		1453	619	82	2154
12	67,9	ISO 7		3722	1857	211	5790
13	38,7	ISO 7		270	153	25	448
14	22,9	ISO 7		1637	877	86	2600
15	5,7	ISO 7		6427	3304	400	10131
16	37,4	ISO 7		1233	776	128	2137
17	39,8	ISO 7		444	231	16	691
18	6,0	ISO 7		488	101	0	589
Totais	487,7			138170	73651	9702	221523

Admitindo-se que todas as salas serão ISO 7, para o total das partículas contabilizadas, 221 523 p.m<sup>-3</sup>, a razão de renovação do ar será 38 r.p.h., ao qual corresponde o caudal total do ar de insuflação de 18 533 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Para o caso das salas serem ISO 8, dez vezes menos renovações seriam necessárias (3.8 r.p.h.). Mas, nestas circunstâncias, põem-se em causa a pressurização das antecâmaras de acesso à área limpa, bem como as condições da temperatura e humidade relativa

do ar ambiente, tendo em consideração que normalmente a razão de renovação nos espaços climatizados é 8 a 10 r.p.h..

## 7.5 Tempo de Recuperação

O tempo de recuperação é o período de melhoramento do nível de classe de uma sala ou área limpa. Este é inversamente proporcional à razão de renovação do ar. Portanto, para maiores valores de renovação mais rápida é a recuperação da sala.

O tempo pode ser estimado aplicando-se a equação:

$$T = 2,5 / r \quad (7.15) \quad [35]$$

A título de exemplo, considere-se a pretensão de recuperação da área limpa, do caso de estudo, da classe ISO 8 para a ISO 7, cuja razão é de 38 r.p.h.. O tempo de recuperação será de 4 minutos. Mas, recuperar da condição de repouso ISO 8, para a condição de operação, com salas ISO 7, cuja razão é de 54,1 r.p.h., apenas será necessário aproximadamente 3 minutos.

## 7.6 Pormenores de Projecto das Áreas Limpas

Os fundamentos de projecto das áreas limpas exigem, no seu interior, uma concentração de partículas existente controlada, utilizando formas, que minimizem a *introdução, a geração e a retenção de partículas*, conjugadas com outros parâmetros como os da temperatura, humidade relativa e pressões do ar, também, necessariamente e devidamente controlados.

Consequentemente, para que se consigam manter as salas limpas com os requisitos pretendidos da QAI, é forçoso que os locais adjacentes possuam critérios de classificação igualmente bons, embora menos exigentes. Com efeito, para o controlo da introdução (infiltrações do ar) e admitindo que a sala adjacente é menos limpa, é possível minimizar a infiltração de partículas introduzindo mais ar, na sala, do que extraindo (pressurização da sala).

Igualmente importante é o controlo da geração interior de partículas e um problema a ter em consideração. Esta tem origem nos elementos de construção do local: paredes, tectos, pavimentos, equipamentos, etc., sendo o mais importante o das pessoas.

Em relação aos elementos de construção pode-se minimizar a geração utilizando materiais duros, não porosos, com acabamentos em epoxy, etc., bem como esquinados redondos.

Quanto aos operadores, a geração interior, pode ser minimizada com fatos próprios, anti-estáticos, a vestir em salas adjacentes. Mas continua a ser a principal causa da geração de partículas, no interior das salas, dado que libertam milhares de células mortas por minuto.

Neste contexto, quanto mais exigente for a classe da sala limpa, mais elevados serão os requisitos a ter em consideração: *acabamentos, vestuário e permanência de pessoas*.

Numa análise prévia, é óbvio que a melhor forma de controlar a qualidade de uma sala ou área limpa é reduzir a geração interior de partículas e fornecer filtros Hepa adequados para limitar a contagem destas, em conformidade com o standard ISO especificado.

Porém, para controlar as três fontes citadas, é necessário o controlo das partículas transportadas pelo ar, pelo que ***uma adequada renovação é crítica no projecto dos sistemas de AVAC das áreas limpas***.

Comparando vários conceitos e guias, para projecto e normas disponíveis, não há uma orientação clara para os muitos parâmetros cruciais dos sistemas de AVAC, particularmente no número de renovações do ar por hora, para a específica classe das salas limpas, conforme cita o artigo da ASHRAE Journal, de Setembro de 2004, a saber:

“A FDA [36] só especifica o mínimo de 20 r.p.h. de ar para áreas controladas sem especificidade [35].

A recente publicação da norma ISO providencia algumas recomendações para as razões de renovação do ar, mas só para a indústria micro-electrónica. Esta estabelece 10 a 20 r.p.h. para a classe 8 (equivalente à classe 100.000 Fed 209 E [37], na qual foi anulada e substituída pela norma ISO 14644-1), por divergência com a FDA, originando confusão [35].

O ISPE [38], como guia das linhas mestras para instalações assépticas, tentou dar cobertura, neste aspecto importante do projecto, com o critério de cálculo estabelecido na secção 15.4, para a relação da renovação do ar, mas infelizmente esta só teve subtítulo, mas não uma equação actual [35].”

É neste contexto, que, ao aplicar-se o actual conceito teórico publicado na ASHRAE Journal [35], ao caso de estudo, se objectivam os conceitos, a saber:

- 1º - É válido admitir uma geração interior de aproximadamente  $177\,000\text{ p.m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $\geq 0,5\text{ }\mu\text{m}$ , para o conjunto das salas, que constituem uma área limpa, de classe ISO 7 na condição de operação.

No caso de estudo, as salas testadas na condição de operação foram a 12, 13, 14 e 16. Admitindo-se que a classe destas é ISO 7, o valor contabilizado de partículas,  $\geq 0,5\text{ }\mu\text{m}$ , é de  $178\,464\text{ p.m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ , quadro 7.17.

Quadro 7.17 – Contabilização das partículas nas salas ocupadas na condição de operação.

Sala	Volume	Partículas. $\text{m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ , para o NCS a 95%			Total	Classe
Nº	$\text{m}^3$	$\geq 0,5\text{ }\mu\text{m}$	$\geq 1,0\text{ }\mu\text{m}$	$\geq 5,0\text{ }\mu\text{m}$	$\text{p.m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$	Nº
12	67,9	50833	11415	540	62788	ISO 7
13	38,7	8400	2384	100	10884	ISO 7
14	22,9	48504	14423	292	63219	ISO 7
16	37,4	27516	12645	1412	41573	ISO 7
Total	166,9	135253	40867	2344	178464	

Na realidade, os valores são muito próximos, pelo que, uma estimativa razoável, para a geração interior de partículas devido aos operadores, é de aproximadamente  $177\,000\text{ p.m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ , numa típica área limpa [35].

Como existem 4 operadores, cada um liberta aproximadamente  $44\,620\text{ p.m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ . Neste valor encontram-se incluídas as partículas geradas no interior das salas.

- 2º - É válido admitir que há uma analogia entre a razão de renovação do ar com a geração interior de partículas, aplicando-se a equação 7.9 ao conjunto de salas que constituem uma área limpa.
- 3º - É válido admitir uma razão de renovação do ar de aproximadamente 30 r.p.h. para um conjunto de salas na condição de operação e de classe ISO 7, de uma área limpa, não se encontrando incluída a sua pressurização.

No caso de estudo, sendo a área limpa da classe ISO 7 e o valor da geração interior de  $178\,464\text{ p.m}^{-3}\cdot\text{min}^{-1}$ , ao aplicar-se a equação 7.9, a razão de renovação é de 30,4 r.p.h.. Na realidade, os valores são muito próximos, pelo que, a renovação de ar requerida é de aproximadamente 30 r.p.h. [35].

- 4º - É válido admitir, que o impacto da pressurização das salas, para uma pressão diferencial de 12,5 Pa e uma frincha na porta de  $0,018\text{ m}^2$ , requer aproximadamente mais 30 r.p.h..

No caso de estudo, se fosse assumido que as salas anexas, 5,6,8,11 e 15, eram ISO 7, o valor da sua contaminação seria de  $177\,693\text{ p.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$ , quando sujeitas às infiltrações das salas limpas em operação, para uma pressão diferencial de 12,5 Pa e uma área de frincha da porta de  $0,018\text{ m}^2$ . Nestas circunstâncias, a razão de renovação seria de 30,3 r.p.h..

Na realidade este valor é semelhante, pelo que, o impacto da pressurização requer aproximadamente mais 30 r.p.h. [35].

5º - O tempo de recuperação de uma sala é obtido aplicando-se a equação 7.15.

6º - Necessidade de acuidade na escolha do sistema de AVAC a aplicar, por forma a haver economia de energia.

Na realidade, a condição de repouso requer menos caudal de ar de insuflação nas salas, pelo que, o sistema deverá permitir a correspondente redução e distribuição equitativa em cada uma delas.

7º - Aplicação de manómetros para medição da pressão diferencial nos filtros.

Na realidade, devem-se aplicar manómetros para medição da pressão diferencial nos filtros das unidades de tratamento do ar e nos filtros absolutos terminais, para verificação da evolução da sua perda de carga e consequente colmatagem.

## **7.7 Pormenores de Manutenção das Áreas Limpas**

Para a manutenção da QAI, das áreas limpas, deve-se proceder com regularidade à realização de testes, regra geral semestralmente, para o conhecimento da geração interior das partículas nas condições de repouso e de operação. Igualmente importante é o registo histórico da geração interior de partículas na situação particular da sala vazia. Com o conhecimento destes valores, em qualquer momento, é possível diagnosticar a ocorrência de situações de anomalia e de estado, por exemplo:

- Limpeza da sala ou equipamento;
- Materiais da sala;
- Equipamentos de produção;
- Vestuário, anti-estático, dos operadores.

Para a realização dos testes deve-se utilizar a planta actualizada da compartimentação e ter o conhecimento apurado:

- Da área e do pé-direito de cada sala;
- Da localização e número de filtros terminais absolutos, incluindo dimensão e tipo em cada sala;
- Dos fluxos de ar laminares

Na preparação dos testes deve-se ter em consideração:

- A determinação correcta do número de amostras para a contagem das partículas, em cada sala, de acordo com a norma ISO 14644-1;
- Acuidade na localização das sondas do teste. Estas devem ficar bem distribuídas e fora da influência dos fluxos do ar ou de pontos de quase estagnação;
- Os equipamentos a utilizar devem ser fiáveis e estar calibrados.

Os testes devem-se efectuar em cada sala e em todas elas, para as condições de repouso e de operação, com os sistemas de AVAC em funcionamento, por uma equipa de profissionais certificados e conscienciosos, registando em ambas as situações:

- A geração interior de partículas;
- O caudal do ar de insuflação e de extracção;
- A temperatura e humidade relativa do ar ambiente;
- A pressão relativa entre salas;
- O número de operadores em cada local, quando da situação de operação;
- A frequência de abertura de portas.

A classe de cada sala é obtida por processo analítico, no tratamento estatístico da concentração de partículas, de acordo com a Norma ISO 14644-1.

Normalmente, ainda, são requeridos os testes de:

- Penetração de partículas  $\leq 0,01$  %, nos filtros absolutos terminais;
- Fumos, para verificação dos fluxos do ar no interior de cada sala;

- Nível de iluminação, no interior de cada sala;
- Nível de ruído, no interior de cada sala.

Para uma completa avaliação e possível balanceamento da instalação de AVAC é necessário o conhecimento dos parâmetros seguintes:

- Caudal de ar novo indicado no projecto e medição deste, na entrada da unidade;
- Caudal de ar total de insuflação da unidade e medição deste, na respectiva conduta;
- Caudal de ar total de retorno do ar à unidade e medição deste, na respectiva conduta;
- Valores das pressões diferenciais dos filtros na unidade e terminais.



## Capítulo 8

### Conclusões

Face à relevância do tema em relação à qualidade do ar interior não ser atingida, por deficiência dos sistemas ou incorrecta manutenção das instalações e relativização da poupança da energia, o presente trabalho revela que há necessidade imperiosa da simbiose entre os saberes: pensar, fazer e gerir.

Na realidade, o *saber pensar* justifica-se plena e amplamente através do estudo de soluções por forma a originar o projecto que satisfaça as sempre presentes exigências da QAI, ambientais e económicas. O *saber fazer* diz respeito à correcta execução do projecto, que deve estar criteriosamente bem definido. O *saber gerir* a manutenção só é possível com o conhecimento completo da instalação executada em obra. Para o efeito, é imprescindível um bom sistema de informação e uma eficaz fiscalização, como elo de ligação entre os diferentes autores e com entrega do Processo de Obra à equipa de manutenção.

Relativamente à QAI das salas limpas, caso de estudo, constituintes de uma área de injectáveis de um laboratório farmacêutico existente, foram realizados ensaios para o controlo de condição daquelas e com os dados recolhidos procedeu-se à sua classificação, de acordo com a Norma ISO 14644-1 de 1999-05-01, fazendo-se uma análise da instalação, numa abordagem da manutenção de melhoramento através do balanceamento da mesma. Este teve por princípio a aplicação do conceito teórico na analogia que existe entre o controlo da geração interior de partículas com a razão de renovação, apresentado pela ASHRAE Journal, concluindo-se:

- Que uma adequada renovação do ar é crítica no projecto dos sistemas de AVAC das áreas limpas;
- Ser válido admitir uma geração interior de aproximadamente  $177\,000\text{ p.m}^{-3}.\text{min}^{-1}$ ,  $\geq 0,5\text{ }\mu\text{m}$ , no conjunto das salas que constituem uma área limpa de classe ISO 7 na condição de operação;
- Ser válido admitir uma razão de renovação do ar de aproximadamente 30 r.p.h., no conjunto das salas que constituem uma área limpa de classe ISO 7 na condição de operação;
- Ser válido admitir que o impacto da pressurização das salas de classe ISO 7, para uma pressão diferencial de 12,5 Pa e uma frincha na porta de  $0,018\text{ m}^2$ , requerem aproximadamente mais 30 r.p.h..

Na perspectiva da manutenção de melhoramento e de continuidade do presente caso de estudo, indicam-se para trabalhos futuros as sugestões seguintes:

- Os testes devem-se efectuar em cada sala e em todas elas, para as condições de repouso e de operação;
- Devem-se medir os caudais do ar de insuflação e de extracção em cada sala;
- Deve-se ter conhecimento do local de permanência dos operadores e da sua movimentação entre salas, na situação de operação;

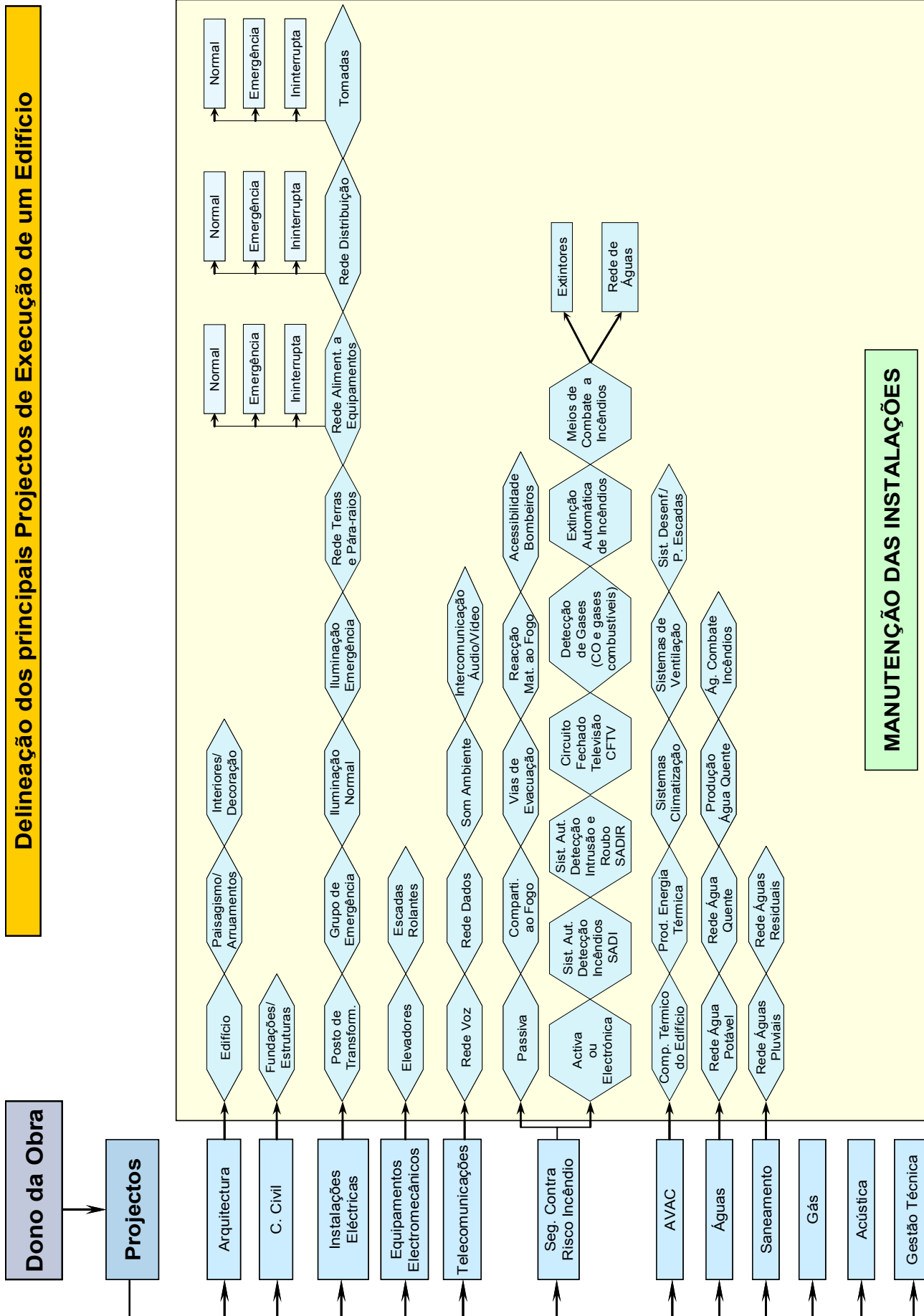
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Landis & GYR. (1980) Symbols for System Drawings.
- [2] Zotto, P. Dall; Larre, J.-M.; Merlet, A.; Picau, L.. (2003) Hermotech, Collection A. Lapliez Génie Énergétique Educative 3<sup>e</sup> édition, Editions Casteilla.
- [3] Ferreira, L. de Andrade. (2002) A Importância de Atingir Níveis Elevados da Disponibilidade e Segurança em Sistemas Complexos. 7<sup>o</sup> Congresso Nacional de Manutenção, Viseu. Associação Portuguesa de Manutenção Industrial.
- [4] Fitzner, Klaus. (2001) As Contas do Professor Fitzner, Revista Climatização, nº13.
- [5] Diciopédia. (2002) Sectores de Actividade Económica. Porto Editora, Lda..
- [6] Bluyses, Philomena. (2001) A Qualidade do Ar em Primeiro Lugar. Revista, Climatização, nº13.
- [7] Sá Borges, A.Jorge de. (2000) O Ar Que Rejeitamos. Revista o Instalador, nº 50.
- [8] Sampaio, António. (2001) A Saúde do Ar Interior em Portugal. Revista, Climatização, nº13.
- [9] <http://xenofonte.demi.fct.unl.pt/fiab/>
- [10] Gaspar, Daniel A.E.M.M.. (2003) A Analise Organizacional na Especificação dos Sistemas de Informação em Gestão da Manutenção. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção de grau de Mestre em Manutenção Industrial.
- [11] Cunha, L.Veiga da. (3<sup>o</sup> Edição). Desenho Técnico. Fundação Calouste Gulbenkian.
- [12] Fernandes, E. de Oliveira; Molina, J. Luís. (2001) Sophie para uma Melhor Qualidade do Ar. Revista, Climatização, nº14.
- [13] Malheiro, Luís. (2002) A Gestão da Manutenção, uma Obrigação Decorrente da Responsabilidade do Projector. 6<sup>o</sup> Seminário de Outubro da EFRIARC.

- [14] Farinha, J.M. Torres. (1997) Manutenção das Instalações e Equipamentos Hospitalares. (Uma Abordagem Terológica). Livraria Minerva Editora.
- [15] Räcknagel; Sprenger; Hönman. (1986) Le Recknagel, Manuel pratique du genie climatique. 2<sup>ème</sup> Edition, PTC Edition. (L’edition originale a été publiée sous le titre: “Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, einschl. Brauchwasserbereitung und KältetechniKe”. 63<sup>e</sup> édition 1985, par Verlag R. Oldenbourg München Wien.
- [16] Direcção Geral de Energia Ministério da Economia (2002). Energia Portugal 2001.
- [17] Fernandes, E. de Oliveira; Sá, R. Araújo. (2003) Gestão de Energia Térmica. Mestrado em Manutenção Industrial da Faculdade de Engenharia do Porto.
- [18] Artigo. (2005) Sistema de Certificação Energética, RSECE e RCCTE. Finalmente aprovados. Revista, Climatização, nº 38.
- [19] Gonçalves, Hélder; Joyce, António; Silva, Luís. (2002) Uma Contribuição para os Objectivos de Política Energética e Ambiental – Fórum, Energias Renováveis em Portugal.
- [20] W.Maake; H.Eckert; Jean; Louis Cauchepin. (1993) Le Pohlmann, Manuel Technique de froid. Tomo 1 da 2<sup>e</sup> édition, PYC Edition. (Cette seconde édition du “Manuel Technique du froid” constitue la synthèse d’un texte traduit de la nouvelle 17<sup>e</sup> édition allemande du “Pohlmann – Taschenbuch der Kältetechnik” par W. Maak et H. – J. Eckert parue aux Editions C.F. Müller.
- [21] CEEETA Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente. Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos. Parte II – Tecnologias de Aproveitamento de Calor.
- [22] Tavares, Rita, S..(2002) Contaminação a Quanto Obrigas. Revista, Climatização, nº 23.
- [23] Fanger, Ole. (2002) Conforto e Qualidade do Ar Interior. Revista, Climatização, nº 7.
- [24] Piedade, A.Cunha da ; Rodrigues, A. Moret; Roriz, Luís F.. (2000) Climatização em Edifícios, Envolvente e Comprimento Térmico. Edições Orion.

- [25] TROX Technik. (2005) Multi-Service chilled Beams, apresentação efectuada, no seminário da Contimetra, em 2005-06-15.
- [26] Fläkt, AB Svenska Fläktfabriken. (1980) procedes de récupération de chaleur sur lair extrait-generalités. Edition Française.
- [27] CIAT. (2001) Ventilation, Traitement d’Air, Échanges Thermiques, Catalogue Tarif n° 1.
- [28] CETIAT, Centre technique des industries aérauliques et thermique. Document Etabli par le C.E.T.I.A.T. Vous est remis par: SOFILTRA-POELMAN.
- [29] TROX Technik. (2000) Air Filter Test to EN 779 (ASHRAE STANDARD 52-76).  
[www.troxtechnik.com](http://www.troxtechnik.com)
- [30] LENNOX. (2004) Catálogo Geral, Filtragem do Ar. [www.lennoxportugal.com](http://www.lennoxportugal.com)
- [31] AAF International. (2001) Filtros de Ar, para aplicação comercial e residencial. Catálogo.
- [32] Oliveira, Pedro. (2004) AMES – Agência Municipal de Energia de Sintra, Projecto CLIMASOL em Edifícios. Energia Solar, revista de energias renovações & Ambiente, nº 54.
- [33] ISO 14644-1. (1999) Clean rooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air Cleanliness.
- [34] ANNEX 1, Manufacture of Sterile Medicinal Products. (1998), Volume 4, Good Manufacturing Practices(GMP). Medical products for human and veterinary use. The rules governing medicinal products in the European Union (EU).
- [35] Zhang, John. (2004) ASHRAE Journal, Pharmaceutical Cleanroom Design. Revista de Setembro.
- [36] 1987 – FDA Guideline on Sterile Drug Products Produced by Aseptic Processing.
- [37] Federal Standard 209 E : Clean Room and Work Station Requirements: Controlled Environment.
- [38] 1999. ISPE Pharmaceutical Engineering Guides, Volume 3: Sterile Manufacturing Facilities.

## ANEXO A



## ANEXO B



**MÉTODOS DE ENSAIO DOS FILTROS DE AR**  
Normalizados pela AFNOR (1) ou Recomendados pela EUROVENT (2) [28]

Método	Aplicações	Natureza e modo de geração do Aerosol de ensaio	Banco de Ensaio	Princípio de medida	Características Determinadas pelo Ensaio	Referências
<b>ASHRAE</b>	Filtros de Média Eficácia	O aerosol de ensaio é obtido por dispersão, através de um fluxo de ar comprimido e de um pó sintético composto de:  72 % de sílica 23 % negro de fumo 5 % de colóide de alumínio  A granulometria da sílica é: 0 a 5 mm - 39 + - 2% 5 a 10 mm - 18 + - 3% 10 a 20 mm - 16 + - 3% 20 a 40 mm - 18 + - 3% 40 a 80 mm - 9 + - 3% Concentração : C = 70 mg/m <sup>3</sup>		O aerosol é disperso na secção de entrada do banco de ensaios. O pó não retido pelo filtro a ensaiar é recolhido sobre o filtro de captura. Determina-se por pesagem a massa de pó recolhida sobre o filtro de captura e a massa de pó emitida. A permeabilidade (i) do filtro é a relação destas duas massas.	a) Rendimento* para o caudal nominal em função da massa de pó dispersa. b) Perda de carga inicial em função do caudal c) Perda de carga para o caudal nominal, em função da massa de pó dispersa. d) Capacidade de retenção	Nas Normas indicadas os métodos gravimétrico e opacimétrico estão associados: Norma AFNOR NF X 44.012 Recomendação Eurovent 4/5
Método Gravimétrico						
<b>Método Opacimétrico</b>	Filtros de Alta Eficácia	O aerosol de ensaio é um aerosol atmosférico. O diâmetro médio, em volume de aerosol atmosférico, varia consoante o local e é em geral superior a 0,5 µm e inferior a 1 µm. A concentração, igualmente variável, consoante o local e a época, está geralmente compreendida entre 0,02 mg/m <sup>3</sup> e 0,3 mg/m <sup>3</sup> .		O pó atmosférico captado através de duas sondas de captação, idênticas, localizadas a montante e a jusante do filtro a ensaiar, é recolhido sobre dois discos de papel filtrante de muito alta eficácia. Por meio de um opacimetro é medida a opacidade de pó depositado sobre os dois discos de papel. A duração da captação a montante e a jusante são escolhidas por forma a que as opacidades dos dois depósitos sejam vizinhas. A permeabilidade do filtro é o produto da relação das durabilidades e a relação das opacidades depositadas.	a) Rendimento* para o caudal nominal. b) Perda de carga inicial em função do caudal.	As Normas indicadas derivam da Norma ASHRAE 52/76.  Método de referência para classificação dos filtros de ventilação em geral
<b>Na Cl</b>						
<b>Método Fotométrico</b>	Filtros de Muita Alta Eficácia	O aerosol de partículas sólidas de cloreto de sódio, produzido por pulverização de uma solução salina, depois da total evaporação da água. Diâmetro médio 0,35µm. Concentração ≈5 mg/m <sup>3</sup> para um ensaio do filtro para um caudal nominal de 1700 m <sup>3</sup> /h.		O aerosol é captado a montante e a jusante do filtro a ensaiar. A intensidade da luz "D" do sódio emitido pelo brinco é medida através de uma célula fotoelétrica. Esta intensidade é proporcional à concentração em sal do aerosol captado e a permeabilidade do filtro é a relação da intensidade a jusante e a montante.	a) Permeabilidade para o caudal nominal. b) Perda de carga inicial em função do caudal.	Norma AFNOR NF X 44013  Recomendação Eurovent 4/4
<b>URANINA</b>						
<b>Método Fluorimétrico</b>	Filtros de Muita Alta Eficácia	O aerosol de partículas sólidas de uranina produzido por pulverização duma solução aquosa, com eliminação das gotículas de diâmetro superior a 1,5 µm, depois de evaporada toda a água. Diâmetro médio em volume 0,12 µm. Concentração: 0,01 mg/m <sup>3</sup> para o ensaio de um filtro com um caudal nominal de 1700 m <sup>3</sup> /h.		A medida consiste na captação do aerosol de uranina a montante e a jusante do filtro a ensaiar, através de dois filtros de captação extraído a uranina destes filtros por lavagem e titular as soluções de lavagem por medida da sua fluorescência. A permeabilidade do filtro é a relação dos títulos das duas soluções.	a) Permeabilidade para o caudal nominal. b) Perda de carga inicial em função do caudal.	Norma AFNOR NF X 44011

(1) AFNOR - Association Française de Normalisation

(2) EUROVENT - Comité Européen des Constructeurs de Matériel Aéraulique

## ANEXO C

Quadro C1.1 – Contagem de Partículas – Sala 1

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANTECAMARA DE ACESSO AO CORREDOR EXTERNO - 1								02-04-2004			
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			24	15	5	1						
	2			9	3	1	1	0	0	12,33333	6,666667	2,333333	0,666667
	3			4	2	1	0						
B	1			20	8	6	0						
	2			27	16	11	2	0	0	29	16,33333	11,33333	2,333333
	3			40	25	17	5						

Quadro C1.2 – Classificação da Sala 1

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANTECÂMARA DE ACESSO AO CORREDOR EXTERNO - 1						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥ 0,1 µm	≥ 0,2 µm	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm	Obs.
Média das	0	0	729,5	406	241	53	- -
Médias	0	0	730	406	241	53	- -
Desvio	0	0	416,4865	241,8305	224,86	41,01219	- -
Padrão	0	0	416	242	225	41	- -
N C S	0	0	2583,185	1484,055	1243,324	235,6457	- -
95%	0	0	2583	1484	1243	236	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C1.3 – Características da Sala 1

Quadro 015 - Características da Sala 1							
Sala / N°	ANTECÂMARA DE ACESSO AO CORREDOR EXTERNO - 1						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	Turbulento	Laminar	N°
Características		2,2	2,6	5,72	Sim	Não	
Filtro n°	Dimen. Int. m / m	Área útil m <sup>2</sup>	Caudal m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração ≤ 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	1111			BOM	
2							
3							
4				194,2308			
5				194			
6							
7							
Total			1111	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	18,47 + - 0,67		ao exterior			23
Hum. Rel. Amb.	%	53,75 + - 3,53		ao corredor externo			-5
Teste de Fumos	BOM			ao exterior			6
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,48	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 5, porque se produzem no seu interior 1243 p. ≥ 1 µm e 236 p. ≥ 5 µm, quando os limites são respectivamente de 832 p. ≥ 1 µm e 29 p. ≥ 5 µm .

Quadro C2.1 – Contagem de Partículas – Sala 2

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		CORREDOR EXTERNO - 2										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			110	70	43	3	0	0	89,33333	58,66667	33	1,666667
	2		82	53	33	2							
	3		76	53	23	0							
B	1			126	87	47	4	0	0	133,6667	88	45,66667	3,666667
	2		120	80	39	3							
	3		155	97	51	4							
C	1			509	346	189	22	0	0	274	186	101,6667	9,666667
	2		213	144	80	2							
	3		100	68	36	5							
D	1			210	138	65	6	0	0	120,6667	75,66667	38,33333	3,666667
	2		73	46	28	2							
	3		79	43	22	3							

Quadro C2.2 – Classificação da Sala 2

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	CORREDOR EXTERNO - 2						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	5452,5	3604,75	1930,5	164,5	- -
Médias	0	0	5453	3605	1931	165	- -
Desvio	0	0	2890,723	2020,557	1121,471	122,2075	- -
Padrão	0	0	2891	2021	1121	122	- -
N C S	0	0	8922,2	6030,2	3276,2	311,4	- -
95%	0	0	8922	6030	3276	311	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C2.3 – Características da Sala 2

Quadro 02.5 Características da Sala 2							
Sala / Nº	CORREDOR EXTERNO - 2						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		14	2,6	36,4	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração <= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	28			BOM	
2	,58 / ,58	0,336	886			BOM	
3	,58 / ,58	0,336	683			BOM	
4				43,87363			
5				44			
6							
7							
Total			1597	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	18,87 +- 1,07		à sala de rotulagem			-15
Hum. Rel. Amb.	%	52,06 +- 4,26		à antecâmara do corredor			5
Teste de Fumos	BOM			à antecâmara do vestiário			-12
CONDIÇÃO DA SALA				à sala de transferência			-25
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						3,74	4

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 311 p. ≥ 5 µm, quando o limite é de 293 p.

Quadro C3.1 – Contagem de Partículas – Sala 3

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANTECÂMARA DE ACESSO AO VESTIÁRIO - 3									02-04-2004		
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			94	67	29	5						
	2			16	11	7	1	0	0	37,33333	26,33333	12	2
	3			2	1	0	0						
B	1			20	13	6	1						
	2			2	1	0	0	0	0	7,333333	4,666667	2	0,333333
	3			0	0	0	0						

Quadro C3.2 – Classificação da Sala 3

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANTECÂMARA DE ACESSO AO VESTIÁRIO - 3						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	788,5	547,5	247,5	41,5	- -
Médias	0	0	789	548	248	42	- -
Desvio	0	0	748,8264	540,9371	249,6097	41,72529	- -
Padrão	0	0	749	541	250	42	- -
N C S	0	0	4125,625	2958,032	1361,693	229,1005	- -
95%	0	0	4126	2958	1362	229	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C3.3 – Características da Sala 3

Sala / Nº	ANTECÂMARA DE ACESSO AO VESTIÁRIO - 3						
Data 02-04-2004	Pavimento m / m	Área m²	Pé - Dir. m	Volume m³	Fluxo de Ar		Pessoas Nº
					Turbulento	Laminar	
Características		2,5	2,6	6,5	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração ≤ 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	974			BOM	
2							
3							
4				149,8462			
5				150			
6							
7							
Total				974	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa		
Temp. Amb.	°C	16,87 + - 0,57			ao vestiário		-9
Hum. Rel. Amb.	%	55,23 + - 2,75			ao corredor externo		12
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,58	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 5, porque se produzem no seu interior 1362 p. ≥ 1 µm e 229 p. ≥ 5 µm, quando os limites são respectivamente de 832 p. ≥ 1 µm e 29 p. ≥ 5 µm.

Quadro C4.1 – Contagem de Partículas – Sala 4

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		VESTIÁRIO - 4										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			153	106	58	10						
	2			68	43	22	2	0	0	82,33333	55	30	5,333333
	3			26	16	10	4						
B	1			263	189	105	17						
	2			114	80	40	5	0	0	136,6667	97,33333	52,33333	7,666667
	3			33	23	12	1						
C	1			302	220	132	23						
	2			127	94	51	8	0	0	160,6667	117	68,66667	10,66667
	3			53	37	23	1						

Quadro C4.2 – Classificação da Sala 4

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	VESTIÁRIO - 4						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	4468,667	3170	1777,333	278,6667	- -
Médias	0	0	4469	3170	1777	279	- -
Desvio	0	0	1417,2	1118,659	685,7365	94,73384	- -
Padrão	0	0	1417	1119	686	95	- -
N C S	0	0	6841,505	5043,559	2925,581	438,06	- -
95%	0	0	6842	5044	2926	438	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C4.3 – Características da Sala 4

Sala / Nº		VESTIÁRIO - 4					
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		7	2,6	18,2	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³. h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração <= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	980	53,84615		BOM	
2							
3							
4							
5				54			
6							
7							
Total			980	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	19,91 + - 0,37		à antecâmara de saída			-18
Hum. Rel. Amb.	%	54,68 + - 2,62		à antecâmara de acesso			9
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						2,65	3

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 438 p. ≥ 5 µm, quando o limite é de 293 p.

Quadro C5.1 – Contagem de Partículas – Sala 5

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANTECÂMARA DE SAÍDA DO VESTIÁRIO - 5									02-04-2004		
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			195	150	98	10						
	2			52	41	25	2	0	0	85,66667	65,66667	42,33333	4
	3			10	6	4	0						
B	1			58	37	16	0						
	2			21	12	5	0	0	0	27,33333	17	7,33333	0
	3			3	2	1	0						

Quadro C5.2 – Classificação da Sala 5

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANTECÂMARA DE SAÍDA DO VESTIÁRIO - 5						
Data	Número de Partículas.m³.min.⁻¹						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	1995	1459,5	877	70,5	- -
Médias	0	0	1995	1460	877	71	- -
Desvio	0	0	1456,64	1215,517	873,984	99,70456	- -
Padrão	0	0	1457	1216	874	100	- -
N C S	0	0	8485,604	6877,004	4770,471	516,4773	- -
95%	0	0	8486	6877	4770	516	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C5.3 – Características da Sala 5

Sala / N°	ANTECÂMARA DE SAÍDA DO VESTIÁRIO - 5						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	N°
Características		3,5	2,6	9,1	Sim	Não	
Filtro n°	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração <= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	918	100,8791		BOM	
2							
3							
4							
5				101			
6							
7							
Total			918	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	16,52 + - 0,72		ao vestiário			18
Hum. Rel. Amb.	%	55,82 + - 3,36		à sala de transferência			10
Teste de Fumos	BOM			ao corredor interno			-19
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,87	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 516 p. ≥ 5 µm, quando o limite é de 293 p.

Quadro C6.1 – Contagem de Partículas – Sala 6

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		SALA DE TRANSFERÊNCIA DE AMPOLAS - 6										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			525	290	146	35	0	0	408,6667	228,3333	119,6667	28,66667
	2			301	173	95	25						
	3			400	222	118	26						
B	1			172	87	40	7	0	0	140,3333	71,66667	36,66667	8
	2			99	62	31	9						
	3			150	66	39	8						
C	1			186	110	59	18	0	0	151,6667	84,66667	42	11,33333
	2			177	98	45	12						
	3			92	46	22	4						
D	1			664	398	199	50	0	0	388,3333	217,3333	110,6667	25
	2			322	175	91	18						
	3			179	79	42	7						
E	1			1067	585	292	59	0	0	567,6667	315	159,6667	35
	2			484	272	144	37						
	3			152	88	43	9						
F	1			428	228	138	36	0	0	277,6667	157,3333	89	21,33333
	2			304	191	96	23						
	3			101	53	33	5						
G	1			438	213	118	32	0	0	240,6667	122	67	17,33333
	2			205	112	60	14						
	3			79	41	23	6						

Quadro C6.2 – Classificação da Sala 6

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº		SALA DE TRANSFERÊNCIA DE AMPOLAS - 6					
Data		Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>					
02-04-2004		≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm
Média das		0	0	10971,43	6035	3151,286	739,7143
Médias		0	0	10971	6035	3151	740
Desvio		0	0	5431,731	3094,319	1568,284	337,2353
Padrão		0	0	5432	3094	1568	337
N C S		0	0	14871,9	8256,902	4277,032	982,0107
95%		0	0	14872	8257	4277	982
Classificação		ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica		C

Quadro C6.3 – Características da Sala 6

Sala / Nº		SALA DE TRANSFERÊNCIA DE AMPOLAS - 6					
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		39,3	2,6	102,18	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração ≤ 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	940			BOM	
2	,58 / ,58	0,336	674			BOM	
3	,58 / ,58	0,336	842			BOM	
4	,58 / ,58	0,336	971	56,93874		BOM	
5	,58 / ,58	0,336	391	57		NEGATIVO	
6	,58 / ,58	0,336	901			BOM	
7	,58 / ,58	0,336	1099			BOM	
Total			5818				
Temp. Amb.	°C	18,91 + - 1,72		à ant. de saída do vestiário			-10
Hum. Rel. Amb.	%	52,97 + - 4,72		à sala de lavagem			-28
Teste de Fumos	BOM			à sala de rotulagem			-10
CONDIÇÃO DA SALA				ao corredor externo			25
Repouso				à ant. de acesso á secção			15
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						6,27	7

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 912 p. ≥ 5 µm, quando o limite é de 293 p.



Quadro C7.1 – Contagem de Partículas – Sala 7

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		SALA DE ROTULAGEM - 7										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			52	32	17	3						
	2			41	29	20	7	0	0	38	24,66667	14,66667	4
	3			21	13	7	2						
B	1			31	24	13	2						
	2			13	10	5	1	0	0	15,66667	12	6,333333	1
	3			3	2	1	0						
C	1			39	26	14	0						
	2			13	8	3	1	0	0	20,66667	13,33333	7	1
	3			10	6	4	2						
D	1			22	18	8	0						
	2			5	5	3	0	0	0	9,666667	8	3,666667	0
	3			2	1	0	0						
E	1			79	56	32	1						
	2			24	18	8	0	0	0	36,33333	25,66667	14	0,666667
	3			6	3	2	1						

Quadro C7.2 – Classificação da Sala 7

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	SALA DE ROTULAGEM - 7						
Data	Número de Partículas.m³.min.⁻¹						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	849,8	590,8	322,4	47	- -
Médias	0	0	850	591	322	47	- -
Desvio	0	0	444,7592	280,8002	173,5497	54,4564	- -
Padrão	0	0	445	281	174	54	- -
N C S	0	0	1267,921	854,9007	485,4118	97,71402	- -
95%	0	0	1268	855	485	98	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C7.3 – Características da Sala 7

Quadro 07.5 Características da Sala 7							
Sala / Nº	SALA DE ROTULAGEM - 7						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		18,9	2,6	49,14	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³ .h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração <= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	1010			BOM	
2	,58 / ,58	0,336	958			BOM	
3	,58 / ,58	0,336	838			BOM	
4				57,10216			
5				57			
6							
7							
Total			2806	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	18,75 +- 0,61		ao corredor externo			15
Hum. Rel. Amb.	%	53,48 +- 2,63		ao exterior			45
Teste de Fumos	BOM			à sala de transferência			-10
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						4,35	5

Esta sala não pode ser classificada como ISO 5, porque se produzem no seu interior 98 p. ≥ 5 µm, quando o limite é 29 p.

Quadro C8.1 – Contagem de Partículas – Sala 8

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANTECÂMARA DE ACESSO À SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 8									02-04-2004		
Nº de partículas por ft <sup>3</sup> contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			949	499	232	33	0	0	633,3333	325,3333	151,3333	24,33333
	2			635	325	161	31						
	3			316	152	61	9						
B	1			1558	854	399	63	0	0	925	504,6667	231,6667	41
	2			823	448	198	42						
	3			394	212	98	18						

Quadro C8.2 – Classificação da Sala 8

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANTECÂMARA DE ACESSO À SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 8						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	27512,5	14654	6762	1153,5	- -
Médias	0	0	27513	14654	6762	1154	- -
Desvio	0	0	7282,493	4477,4	2005,355	416,4865	- -
Padrão	0	0	7282	4477	2005	416	- -
N C S	0	0	59952,65	34598,02	15693,82	3007,185	- -
95%	0	0	59953	34598	15694	3007	- -
Classificação	ISO Classe		8	Grau de Esterilidade Médica			D

Quadro C8.3 – Características da Sala 8

Características da Sala 8							
Sala / N°	ANTECÂMARA DE ACESSO À SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 8						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	N°
Características		3	2,6	7,8	Sim	Não	
Filtro	Dimen. Int.	Área útil	Caudal	Taxa	P. Carga	Teste de Penetração	
n°	m / m	m²	m³.h <sup>-1</sup>	r.p.h	Pa	<= 0,01 %	
1	,275/,580	0,16	63			BOM	
2							
3							
4				8,076923			
5				8			
6							
7							
Total			63	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	19,17 + - 0,36		à sala de transferência			-15
Hum. Rel. Amb.	%	40,31 + - 1,54		à sala de lavagem			-44
Teste de Fumos	BOM			ao exterior			39
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,73	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 7, porque se produzem no seu interior 3007 p. ≥ 5µm, quando o limite é 2930 p.

Quadro C9.1 – Contagem de Partículas – Sala 9

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANTECÂMARA DE ACESSO AO ARMAZÉM DE AMPOLAS - 9										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			1087	781	476	37						
	2			587	424	239	16	0	0	689,6667	488,3333	281,3333	20,33333
	3			395	260	129	8						
B	1			699	508	303	26						
	2			514	321	163	14	0	0	572,6667	363	200,6667	19
	3			505	260	136	17						
C	1			244	128	54	8						
	2			353	192	97	9	0	0	363,3333	202,6667	102	11,66667
	3			493	288	155	18						

Quadro C9.2 – Classificação da Sala 9

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANTECÂMARA DE ACESSO AO ARMAZÉM DE AMPOLAS - 9						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	19134,67	12405,67	6874	600,3333	--
Médias	0	0	19135	12406	6874	600	--
Desvio	0	0	5837,805	5056,126	3171,319	164,7862	--
Padrão	0	0	5838	5056	3171	165	--
N C S	0	0	28909,66	20871,34	12183,26	876,2621	--
95%	0	0	28910	20871	12183	876	--
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C9.3 – Características da Sala 9

Sala / Nº		ANTECÂMARA DE ACESSO AO ARMAZÉM DE AMPOLAS - 9					
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		4,2	2,6	10,92	Sim	Não	
Filtro	Dimen. Int.	Área útil	Caudal	Taxa	P. Carga	Teste de Penetração	
nº	m / m	m²	m³.h <sup>-1</sup>	r.p.h.	Pa	<= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	210			BOM	
2							
3							
4					19,23077		
5				19			
6							
7							
Total				210	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa		
Temp. Amb.	°C	18,83 + - 0,61		ao exterior			42
Hum. Rel. Amb.	%	64,95 + - 4,21		à área técnica			48
Teste de Fumos	BOM			ao armazém de ampolas			-15
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						2,05	3

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 12183 p. ≥ 1µm e 876 p. ≥ 5µm, quando os limites são respectivamente de 8320 p. ≥ 1µm e 293 p. ≥ 5µm.

Quadro C10.1 – Contagem de Partículas – Sala 10

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ARMAZÉM DE AMPOLAS - 10										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			560	348	194	18						
	2			365	235	112	8	0	0	375,3333	233	123,6667	10
	3			201	116	65	4						
B	1			365	241	118	11						
	2			203	154	75	3	0	0	230,6667	159,3333	79,33333	6,333333
	3			124	83	45	5						
C	1			1520	1025	564	68						
	2			1175	765	422	44	0	0	1238	816,6667	447	46,66667
	3			1019	660	355	28						

Quadro C10.2 – Classificação da Sala 10

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ARMAZÉM DE AMPOLAS - 10						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	21704,33	14230	7650,667	741,6667	- -
Médias	0	0	21704	14230	7651	742	- -
Desvio	0	0	19232,13	12716,71	7087,06	787,5535	- -
Padrão	0	0	19232	12717	7087	788	- -
N C S	0	0	53904,44	35522,27	19516,88	2061,361	- -
95%	0	0	53904	35522	19517	2061	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			D

Quadro C10.3 – Características da Sala 10

Características da Sala 10							
Sala / Nº	ARMAZÉM DE AMPOLAS - 10						
Data 02-04-2004	Pavimento m / m	Área m²	Pé - Dir. m	Volume m³	Fluxo de Ar		Pessoas Nº
					Turbulento	Laminar	
Características		7,2	2,6	18,72	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração =< 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	986	52,67094		BOM	
2							
3							
4							
5				53			
6							
7							
Total			986	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	18,62 + - 0,80		à ant. da lavagem			10
Hum. Rel. Amb.	%	65,35 + - 5,09		à ant. de acesso ao armazém			15
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						2,68	3

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 35522 p. ≥ 0,5µm, 19517 p. ≥ 1µm e 2061 p. ≥ 5µm, quando os limites são respectivamente de 35200 p. ≥ 0,5µm, 8320 p. ≥ 1µm e 293 p. ≥ 5µm.

Quadro C11.1 – Contagem de Partículas – Sala 11

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANT. DE AMPOLAS / SALA DE LAVAGEM DE AMPOLAS - 11										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			110	61	33	4						
	2			50	29	10	2	0	0	60	35	16,66667	2,333333
	3			20	15	7	1						
B	1			103	68	28	3						
	2			31	23	11	2	0	0	54	36,66667	16,33333	2,333333
	3			28	19	10	2						

Quadro C11.2 – Classificação da Sala 11

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANT. DE AMPOLAS / SALA DE LAVAGEM DE AMPOLAS - 11						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	2013	1265,5	583	82	- -
Médias	0	0	2013	1266	583	82	- -
Desvio	0	0	149,9066	41,72529	8,485281	0	- -
Padrão	0	0	150	42	8	0	- -
N C S	0	0	2681,216	1453,1	618,6382	82	- -
95%	0	0	2681	1453	619	82	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C11.3 – Características da Sala 11

Sala / Nº		ANT. DE AMPOLAS / SALA DE LAVAGEM DE AMPOLAS - 11					
Data 02-04-2004	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		1,8	2,6	4,68	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração ≤ 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	1005			BOM	
2							
3							
4				214,7436			
5				215			
6							
7							
Total			1005	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	18,22 + - 0,68		à sala de lavagem			-13
Hum. Rel. Amb.	%	66,83 + - 4,48		ao armazém de ampolas			-10
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,34	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 5, porque se produzem no seu interior 82 p. ≥ 5 µm, quando o limite é 29 p.

Quadro C12.1 – Contagem de Partículas – Sala 12 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem		De	Partículas			
Sala / Nº / Data		S. DE LAVAGEM - TÚNEL DE ESTERILIZAÇÃO DE AMPOLAS - 12										02-04-2004		
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA						
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	
A	1			390	266	140	15							
	2			155	104	52	7	0	0	217,3333	143,3333	73,66667	8,333333	
	3			107	60	29	3							
B	1			235	145	71	12							
	2			91	63	28	2	0	0	130,3333	82,66667	38	5,333333	
	3			65	40	15	2							
C	1			221	146	63	8							
	2			87	56	33	2	0	0	113,3333	73,33333	34	3,333333	
	3			32	18	6	0							
D	1			50	35	16	1							
	2			22	15	9	1	0	0	29,66667	20	9,66667	1	
	3			17	10	4	1							
E	1			150	105	55	5							
	2			94	62	25	2	0	0	96,33333	68	35	3	
	3			45	37	25	2							
F	1			87	54	18	0							
	2			37	27	15	0	0	0	45,66667	29	11,66667	0	
	3			13	6	2	0							

Quadro C12.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 12 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem		De	Partículas		
Sala / N° / Data		S. DE LAVAGEM - TÚNEL DE ESTERILIZAÇÃO DE AMPOLAS - 12										02-04-2004	
N° de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			3073	864	317	17	0	0	2946,333	740,3333	246,6667	11,66667
	2			2965	720	240	13						
	3			2801	637	183	5						
B	1			3002	606	146	4	0	0	3050,333	601	147	6,666667
	2			3162	642	157	9						
	3			2987	555	138	7						
C	1			9733	1601	328	14	0	0	9933	1603,667	334	17,33333
	2			9776	1524	334	21						
	3			10290	1686	340	17						
D	1			10564	1653	345	13	0	0	10347,33	1672,333	335	15,33333
	2			10892	1807	351	21						
	3			9586	1557	309	12						
E	1			5251	1419	459	21	0	0	4114,333	992,6667	290	12,33333
	2			4454	978	249	10						
	3			2638	581	162	6						
F	1			956	333	140	11	0	0	759,6667	234,3333	90,66667	5,333333
	2			714	214	80	3						
	3			609	156	52	2						

Quadro C12.2 – Classificação da Sala 12 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / N°	S. DE LAVAGEM - TÚNEL DE ESTERILIZAÇÃO DE AMPOLAS - 12						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das Médias	0	0	3723,5	2450	1188,833	123,5	- -
	0	0	3724	2450	1189	124	- -
Desvio	0	0	2373,674	1557,82	817,5988	106,4453	- -
Padrão	0	0	2374	1558	818	106	- -
N C S	0	0	5662,363	3722,102	1856,894	210,5486	- -
95%	0	0	5662	3722	1857	211	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C12.2.1. Classificação da Sala 12 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / N°	S. DE LAVAGEM - TÚNEL DE ESTERILIZAÇÃO DE AMPOLAS - 12						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das Médias	0	0	183327,5	34394,67	8494,333	403,8333	- -
	0	0	183328	34395	8494	404	- -
Desvio	0	0	140793,3	20132,35	3578,337	166,2979	- -
Padrão	0	0	140793	20132	3578	166	- -
N C S	0	0	298285	50832,71	11415,42	539,5384	- -
95%	0	0	298285	50833	11415	540	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			B

Quadro C12.3 – Características da Sala 12

Características da Sala 12							
Sala / Nº	S. DE LAVAGEM - TÚNEL DE ESTERILIZAÇÃO DE AMPOLAS - 12						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		26,1	2,6	67,86	Sim	Não	
Filtro	Dimen. Int.	Área útil	Caudal	Taxa	P. Carga	Teste de Penetração	
nº	m / m	m²	m³.h <sup>-1</sup>	r.p.h.	Pa	<= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	393			BOM	
2	1,19/580	0,69	743			BOM	
3	1,19/580	0,69	812			BOM	
4	1,19/580	0,69	822	48,04008		BOM	
5	,58 / ,58	0,336	490	48		BOM	
6							
7							
Total			3260	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	18,40 + - 1,13		à sala de transferência			28
Hum. Rel. Amb.	%	47,75 + - 1,23		à ant. de acesso à secção			44
Teste de Fumos	BOM			à sala de enchimento			-12
CONDIÇÃO DA SALA				à ant. do armazém de ampolas			13
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						5,11	6

CLASSIFICAÇÃO FINAL DA SALA QUANDO EM REPOUSO E EM FUNCIONAMENTO			
ISO	Classe	7	Grau de Esterilidade Médica C

Esta sala é particularmente analisada para a situação em operação, pelo que não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 50 833 p. ≥ 0,5µm, 11 415 p. ≥ 1µm e 540 p. ≥ 5 µm, quando os limites são respectivamente de 35 200 p. ≥ 0,5µm, 8320 p. ≥ 1µm e 293 p. ≥ 5µm.

Quadro C13.1 – Contagem de Partículas – Sala 13 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De		Partículas			
Sala / Nº / Data		SALA DE ENCHIMENTO - MÁQUINA - 13										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			26	17	12	1	0	0	9,666667	6,666667	4,666667	0,333333
	2			2	2	1	0						
	3			1	1	1	0						
B	1			175	3	2	0	0	0	98	1,666667	0,666667	0
	2			75	2	0	0						
	3			44	0	0	0						
C	1			221	12	8	0	0	0	215,3333	4	2,666667	0
	2			215	0	0	0						
	3			210	0	0	0						
D	1			279	23	9	1	0	0	177,6667	9	4	0,333333
	2			155	4	3	0						
	3			99	0	0	0						
E	1			46	6	4	1	0	0	28,33333	3,333333	2,333333	1
	2			15	0	0	0						
	3			24	4	3	2						

Quadro C13.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 13 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De		Partículas			
Sala / Nº / Data		SALA DE ENCHIMENTO - MÁQUINA - 13										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 micro	5,0 micro
A	1			185	106	48	2						
	2			174	105	35	3	0	0	208	104,6667	42	2,666667
	3			265	103	43	3						
B	1			4631	498	137	3						
	2			2174	219	51	1	0	0	2413,667	261,3333	68,33333	2
	3			436	67	17	2						
C	1			40	27	10	2						
	2			8	3	1	0	0	0	52,33333	27	5,666667	0,666667
	3			109	51	6	0						
D	1			428	60	27	2						
	2			453	68	36	4	0	0	415,3333	63	28,33333	2
	3			365	61	22	0						



Quadro C13.2 – Classificação da Sala 13 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / N°	SALA DE ENCHIMENTO - MÁQUINA - 13						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	3735,8	174,2	101,2	11,8	- -
Médias	0	0	3736	174	101	12	- -
Desvio	0	0	3181,618	102,356	54,85207	14,29161	- -
Padrão	0	0	3182	102	55	14	- -
N C S	0	0	6724,371	269,7932	152,6532	25,14808	- -
95%	0	0	6724	270	153	25	- -
Classificação	ISO	Classe	5	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C13.2.1. Classificação da Sala 13 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / N°	SALA DE ENCHIMENTO - MÁQUINA - 13						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	27271,75	4025,5	1274	65	- -
Médias	0	0	27272	4026	1274	65	- -
Desvio	0	0	38992,62	3644,934	925,4826	29,40521	- -
Padrão	0	0	38993	3645	925	29	- -
N C S	0	0	74063,6	8400	2384	99,8	- -
95%	0	0	74064	8400	2384	100	- -
Classificação	ISO	Classe	6	Grau de Esterilidade Médica			B

Quadro C13.3 – Características da Sala 13

Sala / Nº		SALA DE ENCHIMENTO - MÁQUINA - 13					
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		14,9	2,6	38,74	Sim	Não	
Filtro	Dimen. Int.	Área útil	Caudal	Taxa	P. Carga	Teste de Penetração	
nº	m / m	m²	m³.h <sup>-1</sup>	r.p.h.	Pa	<= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	147	54,10428		BOM	
2	,58 / ,58	0,336	578				
3	1,19 / ,58	0,69	793				
4	,58 / ,58	0,336	578				
5				54			
6							
7							
Total			2096	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	16,44 + - 0,98		ao corredor interno			13
Hum. Rel. Amb.	%	63,97 + - 5,08		à sala de lavagem			12
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						3,86	4

CLASSIFICAÇÃO FINAL DA SALA QUANDO EM REPOUSO E EM FUNCIONAMENTO				
ISO	Classe	6	Grau de Esterilidade Médica	C

Esta sala é particularmente analisada para a situação em operação, pelo que não pode ser classificada como ISO 5, porque se produzem no seu interior 8400 p. ≥ 0,5µm, 2384 p. ≥ 1µm e 100 p. ≥ 5 µm, quando os limites são respectivamente de 3500 p. ≥ 0,5 µm, 832 p. ≥ 1µm e 29 p. ≥ 5µm.

Quadro C14.1 – Contagem de Partículas – Sala 14 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		CORREDOR INTERNO DA SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 14										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			69	46	22	3						
	2			62	47	29	1	0	0	53,66667	37,33333	21	1,333333
	3			30	19	12	0						
B	1			50	39	19	3						
	2			51	33	18	3	0	0	38,33333	27,33333	13,66667	2
	3			14	10	4	0						
C	1			32	24	14	2						
	2			14	14	11	4	0	0	17	13	8,666667	2
	3			5	1	1	0						

Quadro C14.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 14 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data			CORREDOR INTERNO DA SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 14									02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			582	204	101	11						
	2			723	253	89	7	0	0	911	308,6667	110,6667	8
	3			1428	469	142	6						
B	1			788	276	100	2						
	2			878	264	83	0	0	0	1178	380,6667	133	7
	3			1868	602	216	19						
C	1			3479	1112	355	5						
	2			3755	1164	337	6	0	0	3655	1134,333	341,6667	7
	3			3731	1127	333	10						

Quadro C14.2 – Classificação da Sala 14 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / N°	CORREDOR INTERNO DA SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 14						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das Médias	0	0	1283	914	510,3333	63	- -
Desvio Padrão	0	0	1283	914	510	63	- -
N C S	0	0	650,4129	431,765	219,2818	13,85641	- -
95%	0	0	650	432	219	14	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C14.2.1 – Classificação da Sala 14 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / N°	CORREDOR INTERNO DA SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 14						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das Médias	0	0	67608,33	21465	6889,667	258,6667	- -
Desvio Padrão	0	0	67608	21465	6890	259	- -
N C S	0	0	53427,94	16148,68	4499,255	20,21138	- -
95%	0	0	53428	16149	4499	20	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			B

Quadro C14.3 – Características da Sala 14

Sala / N°	CORREDOR INTERNO DA SECÇÃO DE INJECTÁVEIS - 14						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	Turbulento	Laminar	N°
Características		8,8	2,6	22,88	Sim	Não	
Filtro n°	Dimen. Int. m / m	Área útil m <sup>2</sup>	Caudal m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração <= 0,01 %	
1	1,19 / 58	0,69	816			BOM	
2							
3							
4				35,66434			
5				36			
6							
7							
Total			816	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	17,16 + - 0,87		à sala de enchimento			-13
Hum. Rel. Amb.	%	61,08 + - 3,32		à sala do liofilizador			-16
Teste de Fumos	BOM			à ant. de saída do vestiário			19
CONDIÇÃO DA SALA				à ant. da preparação			-32
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						2,97	3

CLASSIFICAÇÃO FINAL DA SALA QUANDO EM REPOUSO E EM FUNCIONAMENTO			
ISO	Classe	7	Grau de Esterilidade Médica
			C

Esta sala é particularmente analisada para a situação em operação, pelo que não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 48 504 p. ≥ 0,5 µm e 14 423 p. ≥ 1 µm, quando os limites são respectivamente de 35 200 p. ≥ 0,5 µm e 8320 p. ≥ 1 µm.

Refira-se o facto importante, de que nela se produzem 292 p. ≥ 0,5 µm, quando o limite é de 293 p.

Quadro C15.1 – Contagem de Partículas – Sala 15

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas					
Sala / Nº / Data		ANTECÂMARA DE ACESSO À SALA DE PREPARAÇÃO - 15										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			181	127	63	7	0	0	90,33333	63,66667	32,66667	4,333333
	2			52	32	14	2						
	3			38	32	21	4						
B	1			33	23	10	2	0	0	28	19	9,666667	1,666667
	2			34	21	13	3						
	3			17	13	6	0						

Quadro C15.2 – Classificação da Sala 15

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	ANTECÂMARA DE ACESSO À SALA DE PREPARAÇÃO - 15						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥ µm 1	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	2089,5	1459,5	747	106	- -
Médias	0	0	2090	1460	747	106	- -
Desvio	0	0	1556,342	1115,108	574,1707	66,46804	- -
Padrão	0	0	1556	1115	574	66	- -
N C S	0	0	9021,626	6427,072	3304,04	400,015	- -
95%	0	0	9022	6427	3304	400	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C15.3 – Características da Sala 15

Sala / Nº		ANTECÂMARA DE ACESSO À SALA DE PREPARAÇÃO - 15					
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		2,2	2,6	5,72	Sim	Não	
Filtro nº	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração <= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	43	7,517483		BOM	
2							
3							
4							
5				8			
6							
7							
Total			43	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	16,08 + - 0,97		à sala de preparação			-18
Hum. Rel. Amb.	%	67,71 + - 4,14		à sala de filiação			-20
Teste de Fumos	BOM			ao corredor interno			32
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,48	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 400 p. ≥ 5µm, quando o limite é de 293 p.

Quadro C16.1 – Contagem de Partículas – Sala 16 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De		Partículas			
Sala / Nº / Data		SALA DE PREPARAÇÃO - 16										02-04-2004	
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			19	17	11	1	0	0	20,33333	14	10	1,333333
	2			31	18	13	1						
	3			11	7	6	2						
B	1			48	37	24	4	0	0	42,33333	32,33333	20,66667	3,666667
	2			50	38	23	4						
	3			29	22	15	3						
C	1			36	24	13	2	0	0	27,33333	19,33333	10	1
	2			28	21	11	1						
	3			18	13	6	0						
D	1			82	58	36	7	0	0	41,33333	31	19,33333	2,666667
	2			35	29	18	1						
	3			7	6	4	0						

Quadro C16.1.1 – Contagem de Partículas – Sala 16 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem		De		Partículas	
Sala / Nº / Data		SALA DE PREPARAÇÃO - 16								02-04-2004			
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			1847	1003	467	27						
	2			1503	889	481	98	0	0	1399,667	782	389	45,66667
	3			849	454	219	12						
B	1			144	73	37	3						
	2			83	43	26	2	0	0	103	55	26,33333	2,666667
	3			82	49	16	3						
C	1			214	120	54	3						
	2			412	303	137	13	0	0	289,3333	191,6667	81,66667	8,666667
	3			242	152	54	10						
D	1			965	452	155	7						
	2			1427	620	214	9	0	0	1151,333	517,3333	169,6667	7,333333
	3			1062	480	140	6						

Quadro C16.2 – Classificação da Sala 16 em Repouso

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	SALA DE PREPARAÇÃO - 16						
Data	Número de Partículas.m <sup>3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2	≥0,3	≥0,5	≥1	≥5	Obs.
Média das	0	0	1159,5	853,5	529,75	76,25	- -
Médias	0	0	1160	854	530	76	- -
Desvio	0	0	381,0573	316,1571	204,9935	43,41659	- -
Padrão	0	0	381	316	205	43	- -
N C S	0	0	1617,2	1233,2	776	127,6	- -
95%	0	0	1617	1233	776	128	- -
Classificação	ISO Classe		6	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C16.2.1 – Classificação da Sala 16 em Operação

SALA EM OPERAÇÃO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	SALA DE PREPARAÇÃO - 16						
Data	Número de Partículas.m <sup>3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	25982,75	13647,5	5885,25	568	- -
Médias	0	0	25983	13648	5885	568	- -
Desvio	0	0	22454,27	11557,41	5633,456	702,5729	- -
Padrão	0	0	22454	11557	5633	703	- -
N C S	0	0	52927,8	27516,4	12644,6	1411,6	- -
95%	0	0	52928	27516	12645	1412	- -
Classificação	ISO Classe		7	Grau de Esterilidade Médica			B

Quadro C16.3 – Características da Sala 16

Sala / Nº	SALA DE PREPARAÇÃO - 16						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		14,4	2,6	37,44	Sim	Não	
Filtro	Dimen. Int.	Área útil	Caudal	Taxa	P. Carga	Teste de Penetração	
nº	m / m	m²	m³.h <sup>-1</sup>	r.p.h.	Pa	<= 0,01 %	
1	1,19 /,58	0,69	628	34,98932		BOM	
2	1,19 /,58	0,69	682			BOM	
3							
4							
5				35			
6							
7							
Total			1310	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	16,12 + - 1,00		à antecâmara de acesso			18
Hum. Rel. Amb.	%	67,47 + - 4,79					
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso e Funcionamento							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						3,79	4

CLASSIFICAÇÃO FINAL DA SALA QUANDO EM REPOUSO E EM FUNCIONAMENTO			
ISO	Classe	7	Grau de Esterilidade Médica
			C

Esta sala é particularmente analisada para a situação em operação, pelo que não pode ser classificada como ISO 6, porque se produzem no seu interior 12645 p. ≥ 1µm, e 1412 p. ≥ 5 m, quando os limites são respectivamente de 8320 p. ≥ 1µm e 293 p. ≥ 5µm.

Quadro C17.1 – Contagem de Partículas – Sala 17

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De Partículas						
Sala / Nº / Data		SALA DE FILHAÇÃO ASSÉPTICA - 17										02-04-2004		
Nº de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA						
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 micro	5,0 micro	
A	1			67	38	21	1							
	2			16	2	0	0	0	0	31,66667	13,66667	7	0,333333	
	3			12	1	0	0							
B	1			19	10	5	0							
	2			6	0	0	0	0	0	8,333333	3,333333	1,666667	0	
	3			0	0	0	0							
C	1			5	2	1	1							
	2			3	0	0	0	0	0	2,666667	0,666667	0,333333	0,333333	
	3			0	0	0	0							
D	1			18	13	9	1							
	2			9	3	1	0	0	0	11,33333	5,666667	3,333333	0,333333	
	3			7	1	0	0							

Quadro C17.2 – Classificação da Sala 17

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	SALA DE FILHAÇÃO ASSÉPTICA - 17						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	476,5	206,25	109	9	--
Médias	0	0	477	206	109	9	--
Desvio	0	0	446,0897	198,0177	101,7087	6	--
Padrão	0	0	446	198	102	6	--
N C S	0	0	1012,2	443,6	231,4	16,2	--
95%	0	0	1012	444	231	16	--
Classificação	ISO Classe		5	Grau de Esterilidade Médica			C

Quadro C17.3 – Características da Sala 17

Características da Sala 17							
Sala / Nº	SALA DE FILHAÇÃO ASSÉPTICA - 17						
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	Nº
Características		15,3	2,6	39,78	Sim	Não	1
Filtro nº	Dimen. Int.	Área útil	Caudal	Taxa	P. Carga	Teste de Penetração	
	m / m	m²	m³.h <sup>-1</sup>	r.p.h.	Pa	<= 0,01 %	
1	,58 / ,58	0,336	447	35,47009		BOM	
2	,58 / ,58	0,336	456			BOM	
3	,58 / ,58	0,336	508			BOM	
4							
5				35			
6							
7							
Total			1411	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	15,93 + - 0,97		à antecâmara de acesso			20
Hum. Rel. Amb.	%	67,80 + - 4,12					
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						3,91	4

Esta sala não pode ser classificada como ISO 4, porque se produzem no seu interior 1411 p. ≥ 0,3 µm e 613 p. ≥ 0,5 µm, quando os limites são respectivamente de: 1020 p. ≥ 0,3µm e 83 p. ≥ 1 µm.

Quadro C18.1 – Contagem de Partículas – Sala 18

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO								Contagem De		Partículas			
Sala / N° / Data		SALA DO LIOFILIZADOR - 18									02-04-2004		
N° de partículas por ft³ contabilizadas no interior da sala								MÉDIA					
Ponto	Ciclo	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
A	1			16	15	6	0						
	2			1	0	0	0	0	0	5,666667	5	2	0
	3			0	0	0	0						
B	1			4	4	4	0						
	2			1	1	1	0	0	0	1,666667	1,666667	1,666667	0
	3			0	0	0	0						

Quadro C18.2 – Classificação da Sala 18

SALA EM REPOUSO COM AVAC EM FUNCIONAMENTO							
Sala / Nº	SALA DO LIOFILIZADOR - 18						
Data	Número de Partículas.m <sup>-3</sup> .min. <sup>-1</sup>						
02-04-2004	≥0,1 µm	≥0,2 µm	≥0,3 µm	≥0,5 µm	≥1 µm	≥5 µm	Obs.
Média das	0	0	129,5	118	65	0	--
Médias	0	0	130	118	65	0	--
Desvio	0	0	99,70456	83,4386	8,485281	0	--
Padrão	0	0	100	83	8	0	--
N C S	0	0	575,4773	487,7461	100,6382	0	--
95%	0	0	575	488	101	0	--
Classificação	ISO Classe		5	Grau de Esterilidade Médica			A

Quadro C18.3 – Características da Sala 18

Sala / N°		SALA DO LIOFILIZADOR - 18					
Data	Pavimento	Área	Pé - Dir.	Volume	Fluxo de Ar		Pessoas
02-04-2004	m / m	m²	m	m³	Turbulento	Laminar	N°
Características		2,3	2,6	5,98	Sim	Não	
Filtro n°	Dimen. Int. m / m	Área útil m²	Caudal m³.h <sup>-1</sup>	Taxa r.p.h.	P. Carga Pa	Teste de Penetração =< 0,01 %	
1	1,19 / ,58	0,69	598			BOM	
2							
3							
4					100		
5				100			
6							
7							
Total			598	PRESSÃO RELATIVA DA SALA - Pa			
Temp. Amb.	°C	15,80 + - 0,48		ao corredor interno			16
Hum. Rel. Amb.	%	67,05 + - 4,79					
Teste de Fumos	BOM						
CONDIÇÃO DA SALA							
Repouso							
Número Mínimo de Amostras Para Contagem de Partículas						1,52	2

Esta sala não pode ser classificada como ISO 4, porque se produzem no seu interior 488 p ≥ 0,5µm, e 101 p. ≥ 1µm, quando os limites são respectivamente de 352 p. ≥ 0,5 µm e 29 p. ≥ 1 µm.